



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Educadora de Educadores*

**CONOCIMIENTOS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA Y DIDÁCTICO DEL CONTENIDO DE DOS  
PROFESORES DE BOGOTÁ: UN ESTUDIO DE CASO MÚLTIPLE**

**NYDIA ESPERANZA ESPINEL BARRERO**

**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**Bogotá, 2020**



**CONOCIMIENTOS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA Y DIDÁCTICO DEL CONTENIDO DE DOS  
PROFESORES DE BOGOTÁ: UN ESTUDIO DE CASO MÚLTIPLE**

**NYDIA ESPERANZA ESPINEL BARRERO**

**Trabajo de grado para optar al título de DOCTOR EN EDUCACIÓN**

**Director: ÉDGAR ORLAY VALBUENA USSA**

**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**Bogotá, 2020**

*A ti hijita mía, mi mayor orgullo, mi fuerza y mi motor*

## Agradecimientos

Al Doctor Édgar Valbuena, por permitirme encontrar otras respuestas y posibilidades, por compartir conmigo tantos conocimientos, pero fundamentalmente por su apoyo y aliento en esos momentos de cansancio y desasosiego.

A todos los profesores que participaron en esta investigación, en especial a Alejandra y Tomás, compañeros en esta aventura de la enseñanza de la Biotecnología. Gracias por permitirme entrar a sus aulas, a sus vidas, por permitirme conocerlos y representarlos.

A las compañeras docentes del profesorado en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), en especial a las Doctoras Maricel Occelli y Leticia García, por acogernos durante la pasantía realizada, brindándonos la oportunidad de crecer y aprender en tierras lejanas.

A los evaluadores y jurados de esta tesis, los doctores Andrés Perafán, Maricel Occelli, Carol Joglar y Fidel Cárdenas, quienes, con sus observaciones, sugerencias y aportes, permitieron encontrar otras posibilidades de interpretación para avanzar y consolidar esta tesis de investigación.

A los compañeros del grupo de investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias, por compartir sus conocimientos y análisis acerca de nuestra profesión, por permitirme reconocerme y reconocer a mis colegas como constructores de conocimiento.

A la Secretaria de Educación de Bogotá, por apoyarme financieramente.


A mis compañeros del Doctorado, en especial a Anita y Jenny por escucharme, apoyarme y acompañarme.

A mis amigos del alma, mis hermanos por elección, Carlos Giraldo, Adriana Huertas y Adriana Benítez, por su disposición para escucharme y aconsejarme hoy y siempre.

A mi familia, en especial a mis padres y hermanos, por su apoyo y colaboración, por su amor incondicional y por su respeto a este trabajo de investigación.

A mi chiquitina hermosa, por dejarse robar tiempo y espacios. Gracias por inspirarme.

A Dios por brindarme la oportunidad de culminar este proceso de formación profesional.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 5 de 511	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Tesis de grado de doctorado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Conocimientos sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de dos profesores de Bogotá: Un estudio de caso múltiple
<b>Autor(es)</b>	Espinel Barrero, Nydia Esperanza
<b>Director</b>	Valbuena Ussa, Édgar Orlay
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2020. 511 p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Doctorado Interinstitucional de Educación DIE, Secretaria de Educación del Distrito SED
<b>Palabras Claves</b>	Conocimiento Didáctico del Contenido, Biotecnología, Enseñanza de las Ciencias, Conocimiento Profesional del Profesor.

<b>2. Descripción</b>
<p>En esta tesis doctoral el objeto de estudio se centró en la caracterización del Conocimiento sobre la Biotecnología y el CDC de la Biotecnología de dos profesores vinculados a la Secretaría de Educación de Bogotá que enseñan en el nivel de educación media. Se estudió su CDC en acción a partir de sus prácticas a través de la observación no participante de algunas de sus clases, y el CDC declarativo a partir de un instrumento ReCo. Se estudió el Conocimiento sobre Biotecnología, a partir de un instrumento construido y validado para tal fin. Se presentan además las relaciones entre el CDC y el Conocimiento sobre la Biotecnología, destacando aquellas que potencian o limitan la enseñanza de la Biotecnología. Los resultados muestran las ventajas de incorporar la Biotecnología como contenido de enseñanza en la escuela, entre ellas, el fortalecimiento de un posicionamiento crítico de los estudiantes respecto a los avances contemporáneos de la ciencia y la tecnociencia, y, la comprensión global de los procesos y aplicaciones de la Biotecnología presentes en la cotidianidad. La investigación aporta conocimiento respecto a la modelización del</p>

CDC, mapeando además de la proporcionalidad de los componentes de dicho conocimiento, la complejidad de las relaciones entre los componentes, lo cual favorece los análisis que pueden redundar en la formación docente.

### 3. Fuentes

- Abell, S. (2007). Research on science teacher knowledge. En: S. Abell y N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. (pp. 1105–1149.) New York: Routledge.
- Abelson, R. (1979). Differences between belief systems and knowledge systems. *Cognitive Science*, 3, 355-366.
- Acevedo, J. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.
- Acevedo, J. (1998). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 409-420.
- Acevedo, J. (2006a). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 370-391.
- Acevedo, J. (2006b). Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 198-219.
- Acevedo, J. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): El marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46.
- Acevedo, J., Manassero, M., Vázquez, A. (2002). Nuevos retos educativos: hacia una orientación CTS de la alfabetización científica y tecnológica. *Pensamiento Educativo*, 30, 15-34.
- Acevedo, J.; Vázquez, A.; Martín, M.; Oliva, J.; Acevedo, P.; Paixão, M. y Manassero, M. (2005), naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 121-140.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme y Didaxis: TED*, número extraordinario, 23-33.
- AgroBio. (2016). Colombia le apuesta a la Biotecnología. Accedido el 15 de enero de 2017, desde <https://www.agrobio.org/colombia-le-apuesta-la-biotecnologia/>

- Alcaldía Mayor de Bogotá (2006). *Hacia un Modelo de Formación Laboral en Biotecnología*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Alonso, Á., Manassero, M., Acevedo, J., y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista electrónica de enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 331-363.
- Ander – Egg, E. (1995). *Técnicas de Investigación Social*. Buenos Aires: Lumen
- Argenbio. (2014). Consideraciones didácticas para enseñar biotecnología a niños y jóvenes entre 12 y 17 años. Accedido el 18 de mayo de 2017, desde [http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/Consideraciones\\_didacticas.pdf](http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/Consideraciones_didacticas.pdf)
- Arroyo, G. (2011). La enseñanza y capacitación en Biotecnología desde la perspectiva de la Educación General. *Revista Umbral*, 4, 66-78.
- Ausubel, D. (1973). *Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Avalos, I. (1990). *Biotecnología e Industria. Un ensayo de interpretación teórica*. Costa Rica: IICA.
- Ávila, L., Blanco, J. y Chaparro-Giraldo, A. (2010). Estado actual del acceso a recursos genéticos en Colombia por parte de los grupos de investigación registrados en Colciencias. *Acta biológica colombiana*, 15(2), 115 – 130.
- Aydin, S. y Boz, Y. (2013). The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 615-624.
- Ball, L. y Bass, H. (2003). Toward a practice-based theory of mathematical knowledge for teaching. In B. Davis & E. Simmt (Eds.). *Proceedings of the 2002 annual meeting of the Canadian Mathematics Education Study Group* (pp. 3-14). Canada: Canadian Mathematics Education Study Group.
- Ball, L., Thames, M. y Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of teacher education*, 59(5), 389-407.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en educación secundaria: aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 28(2), 199-214.
- Banks, F., Leach, J., y Moon, B. (2005). Extract from new understandings of teachers' pedagogic knowledge. *Curriculum Journal*, 16(3), 331-340.

- Baquero, A. y Herrera, H. (2004). Bases para un estatuto de bioseguridad en Colombia: antecedentes, principios básicos legales y biotecnológicos. Presentación para el Congreso Internacional de Derecho Ambiental, Propiedad, Conflicto y Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Becerra, E y Valbuena, E. (2014). Estructuras sustantiva y sintáctica del conocimiento Biológico. Análisis de un texto universitario. *Revista EDUCyT*. Vol. 9. Junio – Diciembre.
- Bejarano, D. y Basto, J. (2011). Enseñanza de la biotecnología; una estrategia para el fortalecimiento de competencias: investigativas, científicas y en emprendimiento en la educación media. Accedido el 10 de febrero de 2015, desde <http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/paginaimagenes/PRESENTACIONESyPONENCIAS/Memorias%20Ponencias/Bogota/Curriculo%20y%20Evaluacion/Mesa%201%20Septiembre%202021/DAYANA%20BEJARANO%20MU%D1OZ.pdf>
- Bernal, I. y Valbuena, E. (2011). Estructura sustantiva y sintáctica del conocimiento biológico. *Biografía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, Edición Extraordinaria.
- BIO. (2005). Guide to Biotechnology. Accedido el 10 de febrero de 2015, desde <http://www.bionica.info/biblioteca/BIO2006BiotechGuide.pdf>
- Biocat. (2009). Informe BIOCAT Sobre el estado de la biotecnología, la biomedicina y las tecnologías médicas en Cataluña Biocat (Fundació Privada BioRegió de Catalunya). Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [www.dc347.4shared.com/doc/OgjSO\\_rX/preview.html](http://www.dc347.4shared.com/doc/OgjSO_rX/preview.html)
- Biotech. (2005). Manual de indicadores de Biotecnología. Inventario diagnóstico de las biotecnologías en MERCOSUR y comparación con la Unión Europea / BIOTECH ALA-2005-017-350-C2. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [http://docs.bioteconsur.org/informes/es/inventario/1\\_manual\\_indicadores.pdf](http://docs.bioteconsur.org/informes/es/inventario/1_manual_indicadores.pdf)
- Blosser, P. (2000). How to ask the right questions. Arlington, USA: NSTA Press.
- Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. Profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), 1 – 39.
- Bolívar, F. (2007). Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna. México: El Colegio Nacional.
- Borgerding, L.; Sadler, T.; Koroly, M. (2013). Teachers' Concerns About Biotechnology Education. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 133–147



- Bota, A. (2003). El impacto de la biotecnología en América Latina. Espacios de participación social. *Acta Bioethica*, Año IX, N° 1, 21-38.
- Braun, R. y Moses V. (2004) A public policy on biotechnology education: what might be relevant and effective? *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 246 - 249.
- Brink, J., McKelvey, M. y Smith, K. (2004). Conceptualizing and measuring modern biotechnology. En: *The economic dynamics of modern biotechnology*. U.S.A. Edward Elgar.
- Briones, G. (2001). Metodología de la investigación cualitativa. Chile: Universidad de Chile. Centro Iberoamericano de Educación a Distancia CIEDUS.
- Brown, P., Friedrichsen, P., y Abell, S. (2009). Do beliefs change? Investigating prospective teachers' science teaching orientations during an accelerated post-baccalaureate program. *Contemporary science education research: teaching*, 41.
- Bryce, T. y Gray, D (2004) Tough acts to follow: the challenges to science teachers presented by biotechnological progress. *International Journal of Science Education*, 26(6), 717-733.
- Buchholz, K. y Collins, H. (2013). The roots - a short history of industrial microbiology and biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(9), 3747-3762.
- Bud, R. (1991). Biotechnology in the Twentieth Century. *Social Studies of Science*. 21, 415 - 457.
- Buitrago, G. (2012). Tres décadas de biotecnología en Colombia (editorial). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 5 - 6.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique*, 39(8).
- Caamaño, A. (2005). Contextualizar la ciencia. Una necesidad en el nuevo currículo deficiencias. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 46, 5-8.
- Cabo, J.; Enrique, C., García-Peña y Cortiñas, J. (2006). Opiniones e intenciones del profesorado sobre la participación social en ciencia y tecnología. El caso de la biotecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 349-369.
- Cabrera, H. y García, E. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de Historia Da Ciencia*, 7(2), 298-313.
- CAICYT (2009). La biotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias. Informe elaborado para el Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Sociedad del Centro de Altos

Estudios Universitarios de la OEI. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [http://www.oei.es/salactsi/ibero\\_bio\\_final.pdf](http://www.oei.es/salactsi/ibero_bio_final.pdf)

Camelo, L.; García, Y. y Roa, R. (2009). Propuestas desarrolladas en la enseñanza de la Biotecnología en Bogotá: recopilación de resultados. *Tecne, Episteme y Didaxis*, número extraordinario, 613 - 617.

Campanario, J. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 179-192.

Cañal, P. (2000). El análisis didáctico de la dinámica del aula: tareas, actividades, estrategias de enseñanza. En: F. J. Perales y P. Cañal. (Eds). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. (pp. 209-237). España: Alcoy Marfil.

Carlsen, W. (1999). Domains of Teacher Knowledge. En: Gess – Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 133-144). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Caro, M. (2008). Biotecnología aplicada un logro del Grupo Biosec. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(2), 129-133.

Carrascosa, J. Gil-Pérez, D., Peña, A. V., y Valdez, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.

Castaño, T. (2013). Ciencia, tecnología y tecnociencia. Una propuesta para su enseñanza desde CTS. *Revista Vínculos*, 10(2), 471 - 486.

Catret, M., Gomis, J., Ivorra, E., y Martínez, J. (2013). El uso del entorno local en la formación científica de los futuros docentes. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 749-753.

Cerda, H. (1991). Los elementos de la investigación: como reconocerlos, diseñarlos y construirlos. Bogotá: El Búho.

Cerón, L. (2011). Implementación e innovación en biotecnología ambiental e industrial en el contexto empresarial colombiano. Documentos de investigación. Bogotá: Universidad EAN.

Chamas, A. (2000). Alimentos transgénicos. *Invenio*, 3(4-5), 149-159.

Chamizo, J. y Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto una reflexión desde la filosofía. *Alambique*, 46, 9-17.

- Chaparro, A. (2011). Cultivos transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 231 – 252.
- Chetty, S. (1996). The Case Study Method for Research in Small-and Medium-Sized Firms. *International Small Business Journal*, 15(1), 73-85.
- Chevallard, Y. (1985). Transposición didáctica, el conocimiento aprendido a saber enseñado. París: El Pensamiento Salvaje.
- Chin, C. 2007. Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. *Journal of research in Science Teaching*, 44(6), 815-843.
- Clavijo, G. (2008). La evaluación del proceso de formación. Bogotá: Colombia aprende.
- Coca, J. y Pintos, J. (2006). Tecnociencia y cooperación: una mirada desde la perspectiva de los imaginarios sociales. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 7(14-15), 63-74.
- Cohen, R. y Yarden, A. (2009). Experienced junior-high-school teachers' PCK in light of a curriculum change: "The cell is to be studied longitudinally". *Research in Science Education*, 39(1), 131-155.
- Colciencias – Corpogen. (2008). La biotecnología: motor de desarrollo para la Colombia de 2015. Bogotá, Colombia.
- Colciencias (1999). Plan Estratégico de Biotecnología. Programa Nacional de Biotecnología 1999 – 2004. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde <ftp://ftp.colciencias.gov.co/web/programas/biotecnologia/planest.pdf>
- Coll, C. (1994). Los contenidos en la educación escolar. En: *Los contenidos en la reforma*. (pp. 9 – 14). Madrid: Santillana S. A.
- Coll, C. y Valls, E. (1994). El aprendizaje y la enseñanza de los procedimientos. En: *Los contenidos en la reforma*. (pp. 81 – 131). Madrid: Santillana S. A.
- Cordón, R. (2008). Enseñanza y aprendizaje de procedimientos científicos (contenidos procedimentales) en la educación secundaria obligatoria: Análisis de la situación, dificultades y perspectivas. España: Universidad de Murcia.
- Corporación Biotec (2011). Inserción de la Biotecnología en la educación media rural. Informe final presentado a Universidad del Valle – Secretaría de Educación Departamental del Valle del Cauca. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://pqr.valledelcauca.gov.co/educacion/descargar.php?id=8646>

- Cubero, R. (1993). *Cómo trabajar con las ideas de los alumnos*. Sevilla: Editorial Diada.
- Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales ¿distinta terminología y un mismo significado? *Investigación en la Escuela*, 23, 33-42.
- DaSilva, E. (2004) The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronic Journal of Biotechnology*. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://www.ejbiotechnology.info/index.php/ejbiotechnology/article/view/1114/1496>
- Dawson, V. y Soames, C. (2006). The effect of biotechnology education on Australian high school students' understandings and attitudes about biotechnology processes, *Research in Science and Technological Education*, 24(2), 183-198.
- Dawson; V. y Venville, G. (2009) High-school Students' Informal Reasoning and Argumentation about Biotechnology: An indicator of scientific literacy? *International Journal of Science Education*, 31(11), 1421-1445.
- De Longhi, A. (2005). Propuestas para un proceso de formación continua de docentes innovadores en educación en ciencias. En: De Longhi, A., Ferreyra, A., Paz, A., Bermúdez, G., Solís, M., Vaudagna, E., & Cortés, M. *Estrategias didácticas innovadoras para la enseñanza de las Ciencias Naturales en la escuela*. Córdoba: Editorial Universitas.
- Delgado, C. (2012). Un modelo pedagógico para la enseñanza de la producción biotecnológica de material vegetal. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá.
- Demain, A. (2001). Molecular genetics and industrial microbiology — 30 years of marriage. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 27(6), 352 - 356.
- Denzin, N. K. (1989). *Strategies of Multiple Triangulation. The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods*. New Jersey: Prentice Hall.
- Departamento Nacional de Planeación. Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2011). Documento Conpes 3696. Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <https://www.cbd.int/doc/measures/abs/post-protocol/msr-abs-co-es.pdf>
- Díaz, S. (2011). El biopoder de la biotecnología o el biotecnopoder. Aportes para una bio(s)ética. *Ludus Vitalis*. vol. XIX (36), 193-211.
- Díaz-Barriga, F. y Hernández, G. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista*. McGraw-Hill Interamericana.

- Duarte, P; Noguera, A. y Martínez, M. (2012). Prácticas innovadoras para la incorporación de la enseñanza de la Biotecnología en el aula. Memorias X Jornadas Nacionales V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. 989-992.
- Dueñas, A. (2019). El Conocimiento Didáctico del Contenido de la alimentación y la nutrición humana en profesores de Bogotá. [Tesis Doctoral]. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- Dueñas, A., Valbuena, E., Ravanal, E. y Rincón, M. (2016). Mapeo del conocimiento didáctico del contenido de la alimentación y la nutrición humana de una profesora de secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, número extraordinario, 238-245.
- Dunham, T.; Wells, J. y White, K. (2002). Biotechnology Education: A Multiple Instructional Strategies Approach. *Journal of Technology Education*, 14(1), 65-81.
- Duque, J. (2010). Biotecnología. Panorámica de un sector. España: Netbio.
- Eastwood, J. y Sadler, T. (2013). Teachers' implementation of a game-based biotechnology curriculum. *Computers & Education*, 66, 11-24.
- Echeverría, J. (2003). La revolución tecnocientífica. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Echeverría, J. (2010). Tecnociencia, tecnoética y tecnoaxiología. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(1), 142-152.
- Eggen, P. y Kauchak, D. (2009). Estrategias docentes: enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento. México: Fondo de cultura económica.
- Eleizalde, M.; Parra, N.; Palomino, C.; Reina, A.; Trujillo, I. (2010). Aprendizaje por descubrimiento y su eficacia en la enseñanza de la Biotecnología. *Revista de Investigación*, 34(71), 271-290.
- Escudero, T. (2003). La formación pedagógica del profesorado universitario vista desde la enseñanza disciplinar. *Revista de Educación*, 331, 101-121.
- España Ramos, E., y Prieto Ruz, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Revista de Investigación en la Escuela*, 71, 17-24.
- Espinel, N. y Valbuena, E. (2018). Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, 193-206.

- Esteban, S. (2003). La perspectiva histórica de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad y su papel en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 240-246.
- Estepa, J. (2002). La investigación sobre el conocimiento profesional de los profesores para enseñar Ciencias Sociales. *Revista electrónica Cuadernos de Investigación Didáctica en las Ciencias Sociales*, 4.
- Fernández, J.; Diamante, A. y McCarthy, M. (2013). Rol de la REDBIO/FAO en el desarrollo de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe. En: *Crioconservación de plantas en América Latina y el Caribe*. Gonzalez-Arno, M. y Engelmann, F. (Eds). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA): Costa Rica.
- Fernández-Balboa, J. y Stiehl, J. (1995). The generic nature of pedagogical content knowledge among college professors. *Teaching and Teacher Education*, 11(3), 293–306.
- Ferreira, A. 2007. Actualizando nuestras clases de ciencias: Estrategias didácticas coherentes con el trabajo científico. En: De Longui, A. y Echavarrianza, M. (Comp.) *Diálogo entre diferentes voces. Un proceso de formación docente en Ciencias Naturales en Córdoba – Argentina*. Córdoba: Universitas.
- Fitzsimons, P. J. (2007). Biotechnology, ethics and education. *Studies in Philosophy and Education*, 26, 1-11.
- Fonseca, G. y Martínez, C. (2013). La reflexión sobre la práctica y el CDC. Un estudio de caso con profesores de Biología en formación inicial. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas (Extra)*, 1311-1315.
- Fonseca, M.; Costa, P.; Lencastre, L. y Tavares, F. (2012). Disclosing biology teachers' beliefs about biotechnology and biotechnology education. *Teaching and Teacher Education*, 28, 368-381.
- Forero, G. (2011). Estado del Arte de la Biotecnología en Colombia. Cuaderno de investigación. Colección Gestión Ambiental. Universidad EAN. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/2666/Publicaciones.html?sequence=3&isAllowed=y>
- France, B. (2007). Location, Location, Location: Positioning Biotechnology Education for the 21st Century, *Studies in Science Education*, 43(1), 88-122.

- Friedrichsen, P. (2015). My PCK research trajectory: A purple book prompts new questions. En: Berry, A., Friedrichsen, P., y Loughran, J. (Eds.). *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. (pp. 147 – 161). Routledge.
- Friedrichsen, P., Driel, J, y Abell, S. (2011). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376.
- Furió, C., Vilches, A., Aranzabal, J. G., y Romo, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(3), 365-376.
- Furió, C., y Vilches, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad. En: *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. (pp. 47-71). Barcelona: Horsori.
- García, F. (2000). Los modelos didácticos como instrumento de análisis y de intervención en la realidad educativa. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 207(18), 1-12.
- García, F. (2004). La relación ciencia y tecnología en la sociedad actual. Análisis de algunos criterios y valores epistemológicos y tecnológicos y su influencia dentro del marco social. *Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, 7, 105-148.
- García, J. (1998) *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Sevilla, España. Diada editira.
- García, J. y Cañal, P. (1995). ¿Cómo enseñar? Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la Escuela*, 25, 5-16.
- García-Palacios, E., González-Galbarte, J., López-Cerezo, J., Luján, J., Martín-Gordillo, M., Osorio, C. y Valdés, C. (2001). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid: OEI.
- Garritz, A. (2014). Creencias de los profesores, su importancia y cómo obtenerlas, *Educación Química*, 25(2), 88-92.
- Garritz, A. y Velásquez, P. (2009). Biotechnology pedagogical knowledge through Mortimer's conceptual profile. *Proceedings of the NARST 2009 Conference. Garden Groves, CA, USA*.

- Garritz, A., Daza, S., Lorenzo, M. (2014). ¿Transposición didáctica o conocimiento didáctico del contenido o conocimiento pedagógico del contenido? "A rose by any other name". Un recuerdo de Sandy Abell. En: Garritz, A (Ed.) *Conocimiento Didáctico del Contenido: una perspectiva Iberoamericana*. Alemania: Editorial Académica Española.
- Geli, A. (2000). La evaluación de los procesos y de los resultados en la enseñanza de las ciencias. En: F. J. Perales y P. Cañal. (Eds). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. (pp. 187-205). España: Alcoy Marfil.
- Gess-Newsome, J. (1999). Secondary Teachers' Knowledge and beliefs about Subject Matter and their Impact on Instruction. En: Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. (pp.51-94). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. En: Berry, A., Friedrichsen, P., Loughran, J. (Eds) *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). New York: Routledge.
- Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez, J. (1991). Cuadernos de Educación. La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. Barcelona: Ice- Horsori.
- Giordan, A. y De Vecchi, G. (1999). Los orígenes del saber: De las concepciones personales a los conceptos científicos. Sevilla: Díada.
- Gómez, D. y Nemogá, G. (2007). Ilegalidad de la investigación genética en Colombia. *Pensamiento Jurídico*, 18, 265-284.
- Gómez, M. (2011). El Protocolo de Cartagena, un llamado sordo a la precaución. *Revista Zero*. Universidad Externado de Colombia - Facultad de Finanzas, Gobierno y Relaciones Internacionales. 36 – 41. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde [http://portal.uexternado.edu.co/pdf/5\\_revistaZero/ZERO%2014/8\\_Gomez\\_Protocolo\\_Cartagena.pdf](http://portal.uexternado.edu.co/pdf/5_revistaZero/ZERO%2014/8_Gomez_Protocolo_Cartagena.pdf)
- Grossman, P. (1990). *The Making of a Teacher. Teacher Knowledge and Teacher Education*. New York: Teachers College, Columbia University.



- Grossman, P., Wilson, S. y Shulman, L. (1989). Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. En: M.C. Reynolds (ed.), *Knowledge base for beginning teacher*. New York: Pergamon Press Inc.
- Grupo Bio-Educación. (2007). La biotecnología: “Un juguete” preferido en la educación, una visión del Grupo de Investigación Bio – Educación. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 72-78.
- Grupo de incorporación de la biotecnología en la educación básica y media. (1998). Incorporación de la Biotecnología en la Educación Básica y Media. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 1(2), 67- 68.
- Hanegan, N. y Bigler, A. (2009). Infusing authentic inquiry into biotechnology. *Journal of Science Education and Technology*, 18(5), 393-401.
- Hark, A. (2008). Crossing over: An undergraduate service learning project that connects to biotechnology education in secondary schools. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 36(2), 159-165.
- Harvey, O. (1986). Belief systems and attitudes. *Journal of Psychology*, 54, 143-159.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching*, 11(3), 273-292.
- Hernández, H. (2010). Biotecnología (Editorial). *Revista Científica*, 20(3).
- Hidalgo, C. (2004). Reflexiones para decidir sobre los transgenicos. *Compendium*, 7(13), 66-71.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Hodson, D. (2014). Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases. En: Matthews, M.R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 911 – 970). Dordrecht: Springer.
- Irwin, A. (2000). Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context. *Science Education*, 84(1), 5–26.
- Izquierdo, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 309-326.

- Jiménez-Aleixandre, M. (2000). Modelos didácticos. En: *Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. (pp. 165-186). España: Editorial Marfil.
- Kagan, D. M. (1992). Professional growth among preservice and beginning teachers. *Review of Educational Research*, 62, 129-169.
- Kamen, M. (1996). A teacher's implementation of authentic assessment in an elementary science classroom. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 33(8), 859-877.
- Kidman, G. (2009). Attitudes and Interests Towards Biotechnology: The Mismatch Between Students and Teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 5(2), 135-143.
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204.
- Kirkpatrick, G; Orvis, K y Pittendrigh, B. (2002). A teaching model for biotechnology and genomics education. *Journal of Biological Education*, 37(1), 31-35.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science & Education*, 1(3), 273-299.
- Klop, T. y Severiens, S. (2007). An exploration of attitudes towards modern biotechnology: A study among Dutch secondary school students. *International Journal of Science Education*, 29(5), 663-679.
- Krippendorff, K. (1990). Metodología de análisis de contenido. Teoría y práctica. México: Paidós.
- Lardone, L. (2009). El paradigma tecnológico informacional y la biotecnología mediatizada. Tres casos de medios impresos latinoamericanos en sus versiones electrónicas. [Tesis de Maestría]. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Latorre, M. y Blanco, F. (2007). Algunos conceptos clave en torno a las creencias de los docentes en formación. Accedido el 26 de marzo de 2017, desde <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/8093>
- Latour, (1987). Science in Action. How to follow scientists and engineers through society? Milton Keynes: Open University Press. Traducción de E. Aibar, R. Méndez y E. Peniso (1992): *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor.

- Leslie, G. y Schibeci, R. (2003). What do science teachers think biotechnology is? Does it matter? *Australian Science Teachers Journal*, 49(3), 16-21.
- Lledó, A. y Cañal, P. (1993). El diseño y desarrollo de materiales curriculares en un modelo investigativo. *Investigación en la Escuela*, 21, 10-19.
- Loughran, J.; Milroy, P.; Berry, A.; Gunstone, R.; Mulhall, P. (2001). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31, 289-307.
- Mackenzie, R., Burhenne-Guilmin, F., La Viña, A. y Werksman, J. en colaboración con Ascencio, A., Kinderlerer, J., Kummer, K. y Tapper, Richard (2004). *Guía Explicativa del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología*. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Magnusson, S., Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. En: Gess- Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. (pp. 95-132)- Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Malet, A. (2004). Cuestiones epistemológicas de la didáctica: algo está pendiente. Trabajo presentado en el Primer Congreso Internacional: Educación, Lenguaje y Sociedad. Tensiones educativas en América Latina. Universidad Nacional de la Pampa.
- Marcelo, C. (1992). ¿Cómo conocen los profesores la materia que enseñan? Algunas contribuciones de la investigación sobre conocimiento didáctico del contenido. Ponencia presentada al Congreso Internacional Las didácticas específicas en la formación del profesorado (Santiago de Compostela, 6-10 julio 1992).
- Marcelo, C. (2002). La investigación sobre el conocimiento de los profesores y el proceso de aprender a enseñar: Una revisión personal. En: Perafán, G. A., y Bravo, A. A. (Comp.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.
- Martín del Pozo, R. y Porlán, R (1999). Tendencias en la formación inicial del profesorado sobre los contenidos escolares. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 35, 115-128.
- Martínez, C. (2017). Ser maestro de ciencias: productor de conocimiento profesional y de conocimiento escolar. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Martínez, C. y Martínez, V. (2012). El conocimiento escolar y las Hipótesis de Progresión: algunos fundamentos y desarrollos. *Nodos y nudos*, 4(32), 50-64.
- Massarini, A. (2012). Tecnociencia, Naturaleza y Sociedad: El caso de los cultivos transgénicos. Accedido el 24 de marzo de 2017, desde <http://andoni.garritz.com/documentos/Lecturas.CS.../Trangenicos.Tecnociencia.pdf>
- Massarini, A., Carrizo, E., Corti, G., Lavagnino, N., Libertini, B., Lipko, P., Folguera, G. y Schnek, A. (2014). La enseñanza de las ciencias en el contexto latinoamericano: un enfoque pedagógico orientado a la reapropiación social de la ciencia y la tecnología. In *Paper presented at the Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*.
- Melera, G. (2010). Biopoder tecnológico y procesos de Cyborgización. Póster presentado en I Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología. Disponible en: Accedido el 12 de julio de 2016, desde <http://es.scribd.com/doc/45172739/MEMORIAS-II-Congreso-Internacional-de-Investigacion-y-Practica-Profesional-en-Psicologia-XVII-Jornadas-de-Investigacion-Sexto-Encuentro-de-Investigado>
- Melo, S., Mondragón, C. y Wilches, F. (2001). Desarrollo de proyectos escolares en biotecnología. Propuesta de trabajo para la enseñanza aprendizaje de las Ciencias naturales en el nivel de educación media. Memorias XXXVI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Cartagena.
- Membuela, P. (2001). Una revisión del movimiento CTS en la enseñanza de las ciencias. En: *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía* (pp. 91-104). España: Narcea.
- MEN (2004). Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Serie Guías N° 7. Formar en Ciencias ¡El desafío! Accedido el 03 de marzo de 2015, desde [http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf)
- MEN (2017). Mallas de Aprendizaje. Documento para la implementación de los DBA. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <https://aprende.colombiaaprende.edu.co/ckfinder/userfiles/files/CARTILLA-INTRODUCTORIA .pdf>
- Ministerio de Educación (Chile), (2007). El registro: una herramienta para la sistematización de la práctica y la construcción de saber pedagógico. En: N. Galaz, Gómez, M., y Noguera, M (Ed.), *Desarrollo Profesional Docente. Un marco para una enseñanza efectiva*. Chile: Publicación del programa MECE Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=140093>.

- Montgomery, B. (2004). Teaching the Nature of Biotechnology Using Service-Learning Instruction. *BEE-j*, 4, November, 1-12.
- Mora, W. y Parga, D. (2008). El conocimiento didáctico del contenido en química: integración de las tramas de contenido histórico–epistemológicas con las tramas de contexto–aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis*. 24, 56 – 81.
- Mora, W. y Parga, D. (2014). Aportes al CDC desde el Pensamiento Complejo. En: Garritz, A. (Ed.) Conocimiento Didáctico del Contenido: Una perspectiva Iberoamericana. Madrid: Editorial Académica Española EAO. ISBN: 978-3-659-00562-6.
- Moreira, M. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Revista Qurrriculum*, 25, 29-56.
- Moreland, J.; Jones, A. y Cowie, B. (2006). Developing Pedagogical Content Knowledge for the New Sciences: The example of biotechnology. *Teaching Education*, 17(2), 143-155.
- Moreno, A. G. (2006). Atomismo Vs energetismo, controversia científica a finales del siglo XIX. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 411-427.
- Morse, J. (2003) Asuntos críticos en los métodos de investigación cualitativa. Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.
- Muñoz de Malajovich, M. A. (2012). Biología. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes. Argentina.
- Muñoz, E. (2001). Biología y sociedad: encuentros y desencuentros. Madrid: Cambridge University Press.
- Muñoz, E. (2002). La cultura científica, la percepción pública y el caso de la biología. Documento de Trabajo 02-07 del Grupo de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CSIC). Accedido el 18 de marzo de 2015, desde <http://digital.csic.es/bitstream/10261/1503/1/dt-0207.pdf>
- Muñoz, E. (2004). Los problemas en el análisis de la percepción pública de la biología: Europa y sus contradicciones. En: F. J. Rubia, I. Fuentes y S. Casado (Coord.): *Percepción social de la ciencia* (pp. 127-166). Madrid: Academia Europea de Ciencias y Artes/UNED Ediciones.
- Muñoz, P. y Muñoz, I. (2000). Intervención de la familia. Estudio de casos. En: Pérez Serrano, G. (coord.) *Modelos de investigación cualitativa en educación social y animación sociocultural: aplicaciones prácticas*. (pp. 221-252). España: Narcea.

- Mweene, V.; Mumba, F. y Chitiyo, J. (2011). Elementary Education Preservice Teachers' Understanding of Biotechnology and Its Related Processes. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 39(4), 321-325.
- Naciones Unidas. (1992) Convenio sobre la Diversidad Biológica. Río de Janeiro – Brasil. Accedido el 03 de junio de 2015, desde [www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf](http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf)
- Negrín, S.; Sosa, A.; Ayala, M.; Diosdado, E.; Pérez, M.; Pujol, M.; Fernández, J.; Muzio, V.; Castellanos, L.; González, L.; Cremata, J.; Quintana, M.; Pérez, G.; Valdés, J.; Rodríguez, M.; Borroto, C.; González, C.; Morales, J.; Duarte, C.; Pérez, R.; Ubieta, R.; Costa, L.; Rosales, I.; Herrera, L. y Lage, A. (2007). Enseñanza popular de la biotecnología. *Biotecnología Aplicada*, 2(154).
- Nespor, J. (1987). The role of beliefs in the practice of teaching. *Journal of Curriculum Studies*, 19(4), 317-328.
- Niiniluoto, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.
- Núñez, J. (1999). La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar. La Habana: Félix Varela.
- Obregoso, A.; Vallejo, Y. y Valbuena, E. (2013). El conocimiento didáctico del contenido de las ciencias naturales en docentes en formación inicial de primaria. Un estudio de caso. En: Martínez, C. y Valbuena, E. (comp.) *Conocimiento profesional del profesor de ciencias de primaria y conocimiento escolar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ocelli, M. (2013a). La enseñanza de la biotecnología en la escuela secundaria y su abordaje en los libros de texto: Un estudio en la ciudad de Córdoba. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Ocelli, M. (2013b). Enseñar biotecnología en la escuela: aportes y reflexiones didácticas. *Revista boletín biológica* 27(7), 9 -13.
- Ocelli, M.; García, L.; Gardenal, C. y Valeiras, N. (2014). Los organismos transgénicos y su lugar en el aula de secundaria: Un estudio en la ciudad de Córdoba (Argentina). Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva.
- Ocelli, M.; Gardenal, C. y Valeiras, N. (2012) ¿Cómo se enseñan algunas temáticas biotecnológicas controvertidas? X Jornadas Nacionales V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://congresosadbia.com/ocs/index.php/adbia2012/adbia2012/paper/viewFile/55/153>

- Ocelli, M.; Vilar, T. y Valeiras, N. (2011). Conocimientos y actitudes de estudiantes de la ciudad de Córdoba (Argentina) en relación a la Biotecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 227-242.
- OECD. (2005). A Framework for Biotechnology Statistics. Paris.
- OEI. (2009). La biotecnología en Iberoamérica Situación actual y tendencias. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde [http://www.oei.es/salactsi/ibero\\_bio\\_final.pdf](http://www.oei.es/salactsi/ibero_bio_final.pdf)
- OTA. Office of Technology Assessment of the Congress of the United States. (1988). U.S. investment in biotechnology - Special report. Boulder, CO: Westview Press.
- OTA. Office of Technology Assessment of the Congress of the United States. (1991). Biotechnology in a global economy. Washington DC: Government Printing Office.
- Padilla, K y Garritz, A. (2014). Creencias epistemológicas de dos profesores-investigadores de la educación superior. *Educación Química*, 25(3), 343-353.
- Pajares, M. (1992). Teachers' beliefs and educational research: cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307-332.
- Páramo, P. y Otálvaro, G. (2006). Investigación alternativa: Por una distinción entre posturas epistemológicas y no entre métodos. *Moebios*, 25, 1-7.
- Park, S. y Oliver, J. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38, 261-284.
- Park, S. y Suh, J. (2015). From portraying toward assessing PCK: Drivers, dilemmas, and directions for future research. En: *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 114-129). Routledge.
- Park, S., y Chen, Y. (2012). Mapping out the Integration of the Components of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Examples From High School Biology Classrooms. *Journal of research in science teaching*, 49(7), 922-941.
- Pedrancini, V.; Corazza-Nunes, M.; Bellanda, M.; Olivo, A. y Ribeiro, A. (2007). Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 299-309.

- Pedrancini, V.; Corazza-Nunes, M.; Bellanda, M.; Olivo, A.; Moreira, R., de Carvalho, W. (2008). Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do ensino médio sobre transgênicos. *Ciência & Educação*, 14(1), 135-146.
- Perafán, A. (2002). La investigación acerca de los procesos de pensamiento de los docentes: Orígenes y Desarrollo. En: Perafán, G. A., y Bravo, A. A. (Comp.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.
- Porlán, R. (2002). Constructivismo y escuela. Serie Fundamentos Nº 4. Colección Investigación y Enseñanza. España: Díada editorial.
- Porlán, R. y Rivero, A. (1998). El conocimiento de los profesores: una propuesta formativa en el área de ciencias. Sevilla: Diada.
- Porlán, R., Rivero, A. y Martín del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II: Estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), 271-288.
- Porlán, R., Rivero, A. y Martín del Pozo, S. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teorías, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171.
- Pozo, J. (1994). El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos. En: *Los contenidos en la reforma*. (pp. 19-80). Madrid: Santillana
- Pozo, J. y Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.
- Pozo, J. y Gómez, M. (1998). Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Ediciones Morata.
- Quintanilla, M. (1991). Tecnología: un enfoque filosófico. Buenos Aires: Eudeba.
- Quse, L. y De Longhi, A. L. (2005). ¿Qué dicen los docentes de biología del nivel medio sobre la educación CTS?: diagnóstico en Córdoba, Argentina. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 4(2).
- Rañada, A. F. (1996). *De la esencial multidimensionalidad de la ciencia*. España: Edición Las Palmas de Gran Canaria.
- Ravanal, E. y López-Cortés F. (2016). Mapa del conocimiento didáctico y modelo didáctico en profesionales del área biológica sobre el contenido de célula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 725-742.



- Reyes, J. (2013). Conocimiento didáctico del contenido y formación de profesores de física: elementos para la investigación. *Perspectivas epistemológicas, culturales y didácticas en Educación en Ciencias y la formación de profesores: Avances de investigación*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Reyes, J. y Martínez, C. (2013). Una Hipótesis de Progresión sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido respecto a las actividades de enseñanza asociadas al campo eléctrico. En: Martínez y Valbuena (comp.) *Conocimiento profesional del profesor de ciencias de primaria y conocimiento escolar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Richardson, V. (2003). Preservice teachers' beliefs. En: J. Raths, & A. R. McAninch (Eds.), *Teacher beliefs and classroom performance: The impact of teacher education*. Greenwich, Connecticut: Information Age Publishing.
- Rifkin, J. (2004). El siglo de la biotecnología: El comercio genético y el nacimiento de un mundo feliz. Barcelona: Editorial Paidós.
- Rivero, A. y Porlán, R. (2002). La naturaleza y organización del conocimiento profesional "deseable" del profesorado. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [www.elistas.net/lista/redires/ficheros/6/.../La%20Naturaleza%20y%20Organización](http://www.elistas.net/lista/redires/ficheros/6/.../La%20Naturaleza%20y%20Organización)
- Roa, R. (2016). Configuración del conocimiento profesional didáctico y pedagógico del profesor de ciencias para la enseñanza de la biotecnología. [Tesis Doctoral]. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- Roa, R. y Valbuena, E. (2013). Incursión de la biotecnología en la educación: Tendencias e implicaciones. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 156-166.
- Roa, R., García Y., y Chavarro C. (2008). Formación de profesores de Biología a través de la Biotecnología. *Educación y Educadores*, 11(2), 69-88.
- Roca, W. (2003). Estudio de las capacidades biotecnológicas e institucionales para el aprovechamiento de la biodiversidad en los países de la Comunidad Andina. San José, Costa Rica: IICA.
- Rokeach, M. (1968). A Theory of Organization and Change Within Value-Attitude Systems 1. *Journal of Social Issues*, 24(1), 13-33.
- Roland, F. y Kottow, M. (2001). Bioética y Biotecnología: Lo humano entre dos paradigmas. *Acta Bioethica*. Año VII, N° 2.

- Runge, A. (2013). Didáctica: una introducción panorámica y comparada. *Itinerario Educativo*, Año xxvii, N.º 62, 201-240.
- Sanmartí, N. (2002). Necesidades de formación del profesorado en función de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. *Pensamiento educativo*, 30, 35-60.
- Sanmartí, N. (2011). Evaluar para aprender, evaluar para calificar. En Cañal, P (Coord). *Didáctica de la Biología y la Geología*. (pp. 151-170) Barcelona: Editorial Graó.
- Sanmartí, N.; Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 67, 62-69.
- Sanmartín, J. (1990). La ciencia descubre. La industria aplica. El hombre se conforma. Imperativo tecnológico y diseño social. En M. Medina y J. Sanmartín (Eds.): *Ciencia, Tecnología y Sociedad* (pp. 168-180). Barcelona: Anthropos.
- Sarricolea, M. y García-Noblejas, M. (1998). Biotecnología: Aplicaciones y problemas éticos. *Cuadernos de Bioética*, 35, 547-556.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2000). Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica: texto y anexos. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Accedido el 26 de agosto de 2017, desde <https://www.cbd.int/doc/legal/cartagena-protocol-es.pdf>
- Sentís, C. (2004). El ADN: de las metáforas a los hechos...y a la biotecnología. *Inguruak*, 40, 199-220.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Southerland, S., Sinatra, G. y Matthews, M. (2001). Belief, knowledge, and science education. *Educational Psychology Review*, 13(4), 325-351.
- Stake, R. (1998). Investigación con estudio de casos. Madrid: Ediciones Morata.
- Steele, F. y Aubusson, P. (2004). The Challenge in Teaching Biotechnology. *Research in Science Education*, 34, 365-387.

- Tarazona, L. (2003). Tecnociencia, sociedad y valores. *Ingeniería & Desarrollo*, 14, 38-59.
- Tardif, M. (2004). Los saberes del docente y su desarrollo profesional. Madrid, España: Narcea, S.A. Ediciones.
- Torres, R., Macías, F. y Chaves, J. (2004). Proyecto formulación de políticas de acceso y aprovechamiento de los recursos genéticos en Colombia. Hacia un régimen de acceso a los recursos genéticos eficiente y aplicable para Colombia. Programa de Política y Legislación. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.
- Trevan, M., Boffey, S., Goulding, K. y Stanbury, P. (1990). Biotecnología: Principios biológicos. Zaragoza: Acribia.
- Türkmen, L. y Darcin, E. (2007). A Comparative Study of Turkish Elementary and Science Education Major Students' Knowledge Levels at the Popular Biotechnological. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2(4), 125-131.
- Valbuena, E. (1998). Contribución al desarrollo de la Biotecnología desde la educación en los niveles de la básica y media. *Tecné, Episteme Y Didaxis: TED*, 4.
- Valbuena, E. (2007). El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia). [Tesis Doctoral]. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Valbuena, E. (2011). Hipótesis de progresión del conocimiento biológico y del conocimiento didáctico del contenido biológico. Parte I: referentes teóricos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 30, 30-52.
- Van Driel, J., Verloop, N., y De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- Vélez, A. y Calvo, G. (1992). Análisis de la investigación en la formación de investigadores. Nueve años de la maestría en Educación de la Universidad de La Sabana. El estado del arte o del conocimiento. Bogotá: Gráficas Sol.
- Vélez, G. (2009). Los cultivos transgénicos destruyen la biodiversidad y la soberanía alimentaria *Revista semillas*. Accedido el 18 de julio de 2016, desde <http://www.semillas.org.co/es/publicaciones/los-cultivos-transg>
- Verma, A., Agrahari, S., Rastogi, S., Singh, A. (2011). Biotechnology in the Realm of History. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 3(3), 321-323.

- Villar, L. (2002). Pensamientos de los profesores. En: Perafán, G. A., y Bravo, A. A. (Comp.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.
- Wilches, A. (2010). La biotecnología en un mundo globalizado. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(2).
- Yin, R. (2009). *Case study research: design and methods*. United States of America: SAGE Publications, Inc.
- Zabala, A. (2000). *La práctica educativa: cómo enseñar*. España: Editorial Graó.
- Zambrano, A. (2006). *Los hilos de la palabra: pedagogía y didáctica*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Zeller, M. (1994). Biotechnology in the high school biology curriculum: The future is here! *The American Biology Teacher*, 56(8), 460-462.
- Ziman, J. (2003). Ciencia y sociedad civil. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 1(1), 177-188.

#### 4. Contenidos

El informe de la tesis está conformado por cinco capítulos. El primer capítulo describe la *contextualización y delimitación del problema de investigación*, las preguntas orientadoras y los objetivos de la investigación. El segundo capítulo presenta los *referentes teóricos y antecedentes que sustentan la investigación*, organizados en cuatro apartados que hacen referencia a: los referentes teóricos relacionados con el conocimiento profesional del profesor, los referentes teóricos acerca de la Biotecnología, una descripción del desarrollo de la Biotecnología en Colombia y, los principales antecedentes de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Biotecnología a nivel internacional y nacional. El tercer capítulo describe la *metodología*, muestra la perspectiva metodológica bajo la que se desarrolló la investigación y describe las diversas fases del diseño procedimental. También se describen los aspectos éticos considerados. El cuarto capítulo *resultados y análisis* presenta los resultados y hallazgos en relación con el CDC en acción, el CDC declarativo y los referentes sobre la Biotecnología de los dos profesores estudiados, así como la discusión acerca de las relaciones entre su conocimiento sobre la Biotecnología y su CDC. El quinto capítulo muestra las *conclusiones* de la investigación en relación a los objetivos planteados. Por último, aparecen las referencias bibliográficas que acreditan y soportan esta investigación.

## 5. Metodología

La investigación se enmarcó dentro del **paradigma interpretativo**, cuyo interés se centra en estudiar las situaciones desde su totalidad tal y como se desenvuelven naturalmente y, es por lo tanto apropiado para estudiar fenómenos de carácter social, al tratar de comprender la realidad circundante en su carácter específico (Cerdeña, 1991), para nuestro caso el Conocimiento sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

De acuerdo con Yin (2009), durante la investigación desarrollamos un **estudio de caso múltiple**, constituido por dos casos individuales, dos profesores que trabajan en colegios del sector oficial de Bogotá y enseñan Biotecnología en el nivel de educación media. Así, para cada profesor tratamos de comprender detalladamente la estructura de su CDC y de su Conocimiento sobre la Biotecnología, a partir de la descripción de las características de los componentes al interior de cada tipo de conocimiento estudiado y de las relaciones entre tales componentes, así como entre ambos tipos de conocimientos, entendiendo a cada profesor como un caso individual, pero también como parte de un colectivo (Stake, 1994, p. 237), en la idea de entender mejor tales conocimientos en profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

Obtuvimos la información a través de diferentes técnicas e instrumentos, como la observación no participante de sus clases y diferentes cuestionarios, que nos permitieron indagar por su conocimiento sobre los estudiantes, los contenidos de enseñanza, las estrategias de enseñanza, la evaluación de contenidos asociados a la Biotecnología, los propósitos de enseñanza y los conocimientos sobre la Naturaleza de la Biotecnología y sus creencias sobre la Biotecnología, entre otros interrogantes que surgieron durante el desarrollo de la investigación.

## 6. Conclusiones

Las conclusiones se estructuraron de acuerdo a los objetivos específicos propuestos, por lo que, en su orden aparecen las conclusiones sobre las características de los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología, sobre las características de las relaciones entre componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología, sobre las características de los componentes del Conocimiento sobre la Biotecnología y, sobre las relaciones entre los anteriores conocimientos. Finalmente aparecen las conclusiones a nivel metodológico (Ver capítulo V).

En términos generales señalamos que la caracterización de cada componente del CDC de la Biotecnología de los profesores y la construcción de los mapas que representan la configuración y estructura de sus CDC, nos permiten concluir, así como lo han hecho otras investigaciones, que el CDC identifica a cada profesor, en tanto es tópico específico, idiosincrático y personal.

La tesis da cuenta de la caracterización del CDC de la Biotecnología de manera holística e integral, puesto que incorporó tanto el CDC en acción, como el CDC declarativo.

Pese a la intencionalidad de las preguntas del instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología, orientadas a la identificación de las creencias de los profesores sobre la Biotecnología, en sus respuestas es difícil distinguir entre creencias y conocimientos, lo que podría conducir a la realización de modificaciones en el instrumento durante futuras investigaciones.

La metodología desarrollada en esta tesis de investigación no es suficiente para comprender los mecanismos de construcción del CDC de la Biotecnología, los cuales, de acuerdo al análisis de los datos de investigación, tienen que ver con la reflexión constante de los docentes en cuanto a la Naturaleza de la Biotecnología, la influencia de sus saberes existenciales y, la apropiación tanto de los contextos como del conocimiento sobre los estudiantes. Lo anterior se constituye en una posible investigación que podría sumarse a las escasas investigaciones en cuanto al CDC de la Biotecnología.

<b>Elaborado por:</b>	Espinel Barrero Nydia Esperanza
<b>Revisado por:</b>	Valbuena Ussa Édgar Orlay

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	07	12	2020
--	----	----	------

## Aclaraciones para la lectura

Para facilitar la lectura de esta tesis doctoral, hacemos las siguientes precisiones en cuanto a la manera de escribir:

Para que la lectura de la tesis resulte más sencilla, hemos evitado utilizar conjuntamente el género femenino y masculino en aquellos términos que admiten ambas posibilidades. Así, cuando hablamos de alumno, se puede entender que el término se refiere a los alumnos y las alumnas, y, aludir a los profesores o maestros no excluye la existencia de profesoras y maestras.

Para efectos de este escrito utilizamos el término profesor como sinónimo de maestro y docente, teniendo en cuenta nuestro posicionamiento sobre el profesor como un profesional autónomo, reflexivo, racional, investigador y productor de conocimiento.

En esta tesis doctoral utilizamos el término anglosajón PCK (Pedagogical Content Knowledge) solamente cuando los autores así lo referencien, nosotros asumimos el término CDC (Conocimiento Didáctico del Contenido), no como una simple traducción sino porque consideramos que corresponde a un conocimiento didáctico y no pedagógico de acuerdo a lo que desarrollaremos en este documento.

En algunos apartados del texto empleamos la relación PCK/CDC, esto cuando hacemos mención tanto a investigaciones publicadas en español en las que se ha estudiado el CDC, como a investigaciones publicadas en inglés en las que los autores se han referido al PCK.

Utilizamos abreviaturas que corresponden a los diferentes componentes del CDC. Sin embargo, algunas veces a fin de aligerar los textos empleamos los términos correspondientes.

El CDC estudiado en esta tesis corresponde al Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología así en ocasiones no lo precisemos en el texto.

En algunos apartados del texto hemos incluido citas que corresponden a transcripciones textuales, tanto de diálogos ocurridos durante las clases observadas, como de las respuestas de los profesores estudiados a las entrevistas desarrolladas, en estos casos los modos del lenguaje son responsabilidad de los dos docentes y de los estudiantes a su cargo.

En esta tesis doctoral hacemos uso de los términos conocimiento y saber, teniendo en cuenta, en primera instancia, los términos empleados por los autores que citamos y en segunda instancia, que no existe un acuerdo acerca de los límites y diferencias entre ambos conceptos.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	40
<b><i>CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</i></b> .....	43
<b>1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	43
<b>1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	49
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	50
<b>1.3.1 Objetivo general</b> .....	50
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	50
<b><i>CAPÍTULO II: REFERENTES TEÓRICOS Y ANTECEDENTES QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN</i></b> .....	51
<b>2.1 EL CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR</b> .....	52
<b>2.1.1 Perspectivas de estudio del Conocimiento Profesional del Profesor</b> .....	53
2.1.1.1 La propuesta de Shulman: Los conocimientos base para la enseñanza.....	54
2.1.1.2 La perspectiva del Proyecto Curricular IRES .....	56
2.1.1.3 El enfoque de Tardif.....	58
2.1.1.4 El modelo del conocimiento profesional docente de la cumbre del PCK .....	60
<b>2.1.2 El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)</b> .....	64
2.1.2.1 Acerca de la traducción de Pedagogical Content Knowledge (PCK) por Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) .....	64
2.1.2.2 Algunos modelos que representan la estructura del PCK/CDC .....	68
2.1.2.2.1 El modelo de Magnusson, Krajcik y Borko.....	69
2.1.2.2.2 El modelo de Park y Oliver .....	71
2.1.2.2.3 CDC declarativo y CDC en acción .....	72
2.1.2.2.4 Interacción entre los componentes del PCK/CDC .....	73
2.1.2.2.4.1 Investigación sobre las relaciones entre los componentes del PCK/CDC.....	74
2.1.2.2.5 Componentes del CDC en esta investigación .....	79
2.1.2.2.5.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza .....	80
2.1.2.2.5.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza.....	82
2.1.2.2.5.3 Conocimiento sobre los estudiantes .....	88
2.1.2.2.5.4 Conocimiento sobre la evaluación.....	90
2.1.2.2.5.5 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza.....	93



2.1.2.5.6	Conocimiento sobre el contexto.....	95
<b>2.1.3</b>	<b>El Conocimiento Disciplinar</b> .....	<b>96</b>
2.1.3.1	El Conocimiento Disciplinar y su relación con el Conocimiento Didáctico del Contenido.....	97
2.1.3.2	El Conocimiento Disciplinar en esta investigación: El Conocimiento sobre la Disciplina .....	98
2.1.3.3	Componentes del Conocimiento sobre la Disciplina en esta investigación .....	100
2.1.3.3.1	Conocimiento sobre la Naturaleza de la Ciencia .....	100
2.1.3.3.2	Creencias sobre la disciplina .....	102
2.1.3.3.2.1	Definiendo las creencias .....	103
2.1.3.3.2.2	Sobre la distinción entre creencias y conocimiento .....	104
2.1.3.3.2.3	Creencias y sistemas de creencias .....	105
2.1.3.3.2.4	Creencias y sistema de creencias en esta investigación.....	107
<b>2.2</b>	<b>REFERENTES EPISTEMOLÓGICOS ACERCA DE LA BIOTECNOLOGÍA</b> .....	<b>108</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Consideraciones epistemológicas respecto de la Biotecnología</b> .....	<b>108</b>
2.2.1.2	Qué significa Biotecnología: Un poco de historia.....	109
2.2.1.3	Definiciones de Biotecnología .....	112
2.2.1.4	Ambigüedad en el estatus epistemológico de la Biotecnología.....	116
2.2.1.5	La Biotecnología desde la perspectiva de las relaciones ciencia – tecnología .....	117
2.2.1.6	La Biotecnología: Una tecnociencia .....	120
2.2.1.7	Estructuras sustantiva y sintáctica de la Biotecnología .....	122
2.2.1.7.1	Aproximación a la estructura sustantiva de la Biotecnología .....	122
2.2.1.7.2	Aproximación a la estructura sintáctica de la Biotecnología.....	124
<b>2.3</b>	<b>GENERALIDADES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN COLOMBIA</b> .....	<b>127</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Aproximación al desarrollo de la Biotecnología en Colombia</b> .....	<b>127</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Sectores de desarrollo biotecnológico en Colombia</b> .....	<b>129</b>
2.3.2.1	Investigación y aplicación de la Biotecnología en el sector agrícola .....	131
<b>2.3.3</b>	<b>Políticas de regulación de los desarrollos biotecnológicos y el acceso a los recursos genéticos</b> .....	<b>132</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Implicaciones educativas del desarrollo de la Biotecnología en Colombia</b> .....	<b>134</b>
<b>2.4</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA ENSEÑANZA DE LA BIOTECNOLOGÍA</b> .....	<b>135</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Organizaciones ocupadas de la enseñanza de la Biotecnología</b> .....	<b>136</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Inclusión de la Biotecnología en los currículos escolares</b> .....	<b>137</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Motivos y finalidades de la inclusión de la Biotecnología en los planes curriculares</b> .....	<b>141</b>

<b>2.4.5</b>	<b>Estrategias empleadas en la enseñanza de la Biotecnología</b> .....	142
<b>2.4.6</b>	<b>Contenidos de enseñanza de la Biotecnología</b> .....	144
<b>2.4.7</b>	<b>Estudios sobre percepciones, intereses y conocimientos sobre la Biotecnología en la escuela</b> .....	145
<b>2.4.8</b>	<b>Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la Biotecnología</b> .....	147
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....		150
<b>3.1</b>	<b>PERSPECTIVA METODOLÓGICA</b> .....	151
<b>3.2</b>	<b>FASE 1: CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO DE CASO MÚLTIPLE</b> .....	152
<b>3.2.1</b>	<b>Selección de los sujetos de estudio</b> .....	153
<b>3.2.2</b>	<b>Descripción de los sujetos de estudio</b> .....	155
<b>3.3</b>	<b>FASE 2: OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	155
<b>3.3.1</b>	<b>Obtención de información acerca del CDC</b> .....	156
3.3.1.1	Observación no participante.....	156
3.3.1.2	Instrumento Representación del Contenido (ReCo) .....	157
<b>3.3.2</b>	<b>Obtención de información acerca del Conocimiento sobre la Biotecnología</b> .....	159
3.3.2.1	Instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología.....	159
<b>3.4</b>	<b>FASE 3: SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	161
<b>3.4.1</b>	<b>Sistematización de la información acerca del CDC</b> .....	161
3.4.1.1	Sistematización del CDC en acción .....	162
3.4.1.2	Sistematización del CDC declarativo.....	164
<b>3.4.2</b>	<b>Sistematización del Conocimiento sobre la Biotecnología</b> .....	165
<b>3.4.3</b>	<b>Triangulación de los datos</b> .....	165
<b>3.5</b>	<b>FASE 4: ANÁLISIS DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	166
<b>3.5.1</b>	<b>Representación del CDC de la Biotecnología a través de mapas</b> .....	166
3.5.1.1	Direccionalidad de las relaciones entre componentes del CDC .....	167
3.5.1.2	Hipótesis de Progresión para el CDC de la Biotecnología.....	167
3.5.1.2	Representación de la frecuencia y los niveles de complejidad de las relaciones.....	172
<b>3.6</b>	<b>ASPECTOS ÉTICOS</b> .....	175
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....		177

<b>4.1 EL CDC DE LA PROFESORA ALEJANDRA .....</b>	<b>177</b>
<b>4.1.1 Descripción del caso 1 .....</b>	<b>178</b>
4.1.1.1 La profesora Alejandra (P.1) .....	178
4.1.1.2 El contexto institucional .....	180
4.1.1.3 El contexto de las clases de la profesora Alejandra.....	184
<b>4.1.2 El CDC en acción de la profesora Alejandra .....</b>	<b>187</b>
4.1.2.1 Mapa del CDC en acción de la profesora Alejandra en la clase P1.C1 .....	187
4.1.2.1.1 Relaciones entre componentes del CDC en la clase P1.C1.....	188
4.1.2.1.2 Complejidad de las relaciones entre componentes del CDC en la clase P1.C1 .....	189
4.1.2.2 Estructura del CDC en acción de la profesora Alejandra .....	191
4.2.2.2.1 Mapas del CDC en acción de la profesora Alejandra.....	192
4.2.2.2.1.1 Frecuencia de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra.....	193
4.2.2.2.1.2 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones.....	196
4.2.2.2.1.3 Descripción de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra.....	198
4.2.2.2.1.3.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza .....	198
4.2.2.2.1.3.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza.....	223
4.2.2.2.1.3.3 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza.....	240
4.2.2.2.1.3.4 Conocimiento sobre la evaluación.....	244
4.2.2.2.1.3.5 Conocimiento sobre los estudiantes .....	252
4.2.2.2.1.3.6 Conocimiento sobre el contexto.....	257
<b>4.2.3 El CDC declarativo de la profesora Alejandra .....</b>	<b>260</b>
4.2.3.1 Mapa del CDC declarativo de la profesora Alejandra.....	260
4.2.3.2 Frecuencia de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra.....	261
4.2.3.3 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones.....	262
4.2.3.4 Descripción de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra.....	265
4.2.3.4.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza .....	265
4.2.3.4.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza.....	273
4.2.3.4.3 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza .....	276
4.2.3.4.4 Conocimiento sobre los estudiantes .....	279
4.2.3.4.5 Conocimiento sobre el contexto.....	282
4.2.3.4.6 Conocimiento sobre la evaluación.....	284

<b>4.3 REFERENTES DE LA PROFESORA ALEJANDRA SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA</b> .....	286
<b>4.3.1 Conocimiento de la profesora Alejandra sobre la Naturaleza de la Biotecnología</b> .....	286
4.3.1.1 Aspectos epistemológicos de la Biotecnología.....	287
4.3.1.2 Aspectos históricos de la Biotecnología .....	293
4.3.1.3 Aspectos sociológicos de la Biotecnología.....	296
<b>4.3.2 Creencias de la profesora Alejandra sobre la Biotecnología</b> .....	297
<b>4.4 EL CDC DEL PROFESOR TOMÁS</b> .....	300
<b>4.4.1 Descripción del caso 2</b> .....	300
4.4.1.1 El profesor Tomás (P2) .....	300
4.4.1.2 El contexto institucional .....	302
4.4.1.3 El contexto de las clases del profesor Tomás .....	306
<b>4.4.2 El CDC en acción del profesor Tomás</b> .....	308
4.4.2.1 Estructura del CDC en acción del profesor Tomás.....	308
4.4.2.1.1 Mapas del CDC en acción del profesor Tomás .....	308
4.4.2.1.2 Frecuencia de los componentes del CDC en acción del profesor Tomás .....	310
4.4.2.1.3 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones.....	311
4.4.2.1.4 Componentes del CDC en acción del profesor Tomás.....	314
4.4.2.1.4.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza .....	314
4.4.2.1.4.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza.....	333
4.4.2.1.4.3 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza.....	354
4.4.2.1.4.4 Conocimiento sobre los estudiantes .....	361
4.4.2.1.4.5 Conocimiento sobre la evaluación.....	370
4.4.2.1.4.6 Conocimiento sobre el contexto.....	377
<b>4.4.3 El CDC declarativo del profesor Tomás</b> .....	383
4.4.3.1 Mapa del CDC declarativo del profesor Tomás .....	383
4.4.3.2 Frecuencia de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás .....	384
4.4.3.3 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones.....	385
4.4.3.4 Descripción de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás .....	388
4.4.3.4.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza .....	388
4.4.3.4.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza.....	401
4.4.3.4.3 Conocimiento sobre los estudiantes .....	407
4.4.3.4.4 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza .....	413
4.4.3.4.5 Conocimiento sobre la evaluación.....	418
4.4.3.4.6 Conocimiento sobre el contexto.....	424

<b>4.5 REFERENTES DEL PROFESOR TOMÁS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA</b> .....	428
<b>4.5.1 Conocimiento del profesor Tomás sobre la Naturaleza de la Biotecnología</b> .....	429
4.5.1.1 Aspectos epistemológicos de la Biotecnología.....	429
4.5.1.2 Aspectos históricos de la Biotecnología .....	436
4.5.1.3 Aspectos sociológicos de la Biotecnología.....	437
<b>4.5.2 Creencias del profesor Tomás sobre la Biotecnología</b> .....	439
<b>4.6 RELACIONES ENTRE EL CONOCIMIENTO SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA Y EL CDC DE LOS PROFESORES ESTUDIADOS</b> .....	440
<b>4.6.1 Referentes sobre la Naturaleza de la Biotecnología y su relación con la enseñanza</b> .....	441
<b>4.6.2 Saberes existenciales que influyen la enseñanza de la Biotecnología</b> .....	452
<b>4.6.3 El conocimiento sobre el contexto como potencializador de la enseñanza de la Biotecnología</b> .....	458
<b>4.6.4 El conocimiento sobre los estudiantes y su influencia en la enseñanza de la Biotecnología</b> .....	465
<b><i>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES</i></b> .....	469
<b>5.1 Sobre las características de los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología</b> .....	469
5.1.1 Acerca del conocimiento sobre los contenidos de enseñanza .....	469
5.1.2 Acerca del conocimiento sobre las estrategias de enseñanza .....	470
5.1.3 Acerca del conocimiento sobre los propósitos de enseñanza.....	471
5.1.4 Acerca del conocimiento sobre la evaluación.....	471
5.1.5 Acerca del conocimiento sobre los estudiantes.....	472
5.1.6 Acerca del conocimiento sobre el contexto .....	472
<b>5.2 Sobre las características de las relaciones entre componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología</b> .....	473
<b>5.3 Sobre las características del Conocimiento sobre la Biotecnología</b> .....	474
5.3.1 Acerca del conocimiento sobre la Naturaleza de la Biotecnología .....	474
5.3.2 Acerca de las creencias sobre la Biotecnología.....	475
<b>5.4 Sobre las relaciones entre el Conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología</b> .....	476
<b>5.5 Conclusiones en términos metodológicos</b> .....	477
<b><i>REFERENCIAS</i></b> .....	478

**ANEXOS..... 500**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Modelo de conocimiento y habilidad profesional docente (TPK&S) aprobado en la Cumbre del PCK.....	60
<b>Figura 2.</b> Componentes del PCK/CDC según Magnusson, Krajcik y Borko .....	69
<b>Figura 3.</b> Modelo hexagonal del PCK propuesto por Park y Oliver .....	72
<b>Figura 4.</b> Direccionalidad de las relaciones .....	167
<b>Figura 5.</b> Representación de la frecuencia y los niveles de complejidad de las relaciones .....	175
<b>Figura 6.</b> Mapa de la clase P1.C1 .....	188
<b>Figura 7.</b> Mapas del CDC en acción de la profesora Alejandra de las clases P1.C1 a P1.C12.....	192
<b>Figura 8.</b> Mapa consolidado CDC en acción profesora Alejandra .....	193
<b>Figura 9.</b> Ejemplo para entender el porcentaje del componente Evaluación (EV) en el mapa consolidado del CDC en acción de la profesora Alejandra .....	194
<b>Figura 10.</b> Frecuencia de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra .....	195
<b>Figura 11.</b> V Heurística empleada por la profesora Alejandra en las clases P1.C3, P1.C4 y P1.C5. ....	228
<b>Figura 12.</b> Mapa del CDC declarativo de la profesora Alejandra .....	261
<b>Figura 13.</b> Frecuencia de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra.....	262
<b>Figura 14.</b> Momentos del ciclo investigativo del proyecto de Biotecnología presentado por los estudiantes de ciclo 6 .....	304
<b>Figura 15.</b> Mapas del CDC en acción del profesor Tomás de las clases P2.C1 a P2.C6 .....	309
<b>Figura 16.</b> Mapa consolidado CDC en acción profesor Tomás .....	309
<b>Figura 17.</b> Frecuencia de los componentes del CDC en acción del profesor Tomás.....	310
<b>Figura 18.</b> Carteleras empleadas por el profesor Tomás durante la primera clase .....	335
<b>Figura 19.</b> Esquema realizado por Tomás durante la clase P2.C4 .....	342
<b>Figura 20.</b> Mapa del CDC declarativo del profesor Tomás .....	384
<b>Figura 21.</b> Frecuencia de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás .....	385

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estatus epistemológico empleado en algunas definiciones de Biotecnología .....	116
<b>Tabla 2.</b> Términos referidos a la utilidad empleados en algunas definiciones de Biotecnología .....	117
<b>Tabla 3.</b> Colegios distritales de Bogotá cuyo Proyecto de Educación Media Fortalecida tiene énfasis en Biotecnología .....	153
<b>Tabla 4.</b> Perfil profesional de los participantes del caso múltiple .....	155
<b>Tabla 5.</b> Las preguntas del ReCo y los componentes del CDC .....	158
<b>Tabla 6.</b> Categorías y subcategorías indagadas en el instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología .....	160
<b>Tabla 7.</b> Hipótesis de progresión sobre el CDC Biotecnológico.....	172
<b>Tabla 8.</b> Niveles de complejidad y estilos de flecha que los representan.....	173
<b>Tabla 9.</b> Frecuencia y niveles de complejidad de la relación P a C en la clase P1.C2.....	174
<b>Tabla 10.</b> Malla Curricular Programa EMF – Año 2016 .....	183
<b>Tabla 11.</b> Síntesis de las clases sistematizadas caso P.1.....	187
<b>Tabla 12.</b> Ejemplos del cálculo de los valores promedio de complejidad de algunas relaciones entre componentes del CDC de la clase P1.C1 .....	190
<b>Tabla 13.</b> Algunas relaciones entre componentes en la clase P1.C1 con sus valores de complejidad.....	191
<b>Tabla 14.</b> Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC en acción de la profesora Alejandra .....	196
<b>Tabla 15.</b> Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC declarativo de la profesora Alejandra .....	263
<b>Tabla 16.</b> Ejes temáticos del módulo Fundamentos de Biotecnología Ciclo 5.....	305
<b>Tabla 17.</b> Prácticas de laboratorio y salidas propuestas por el profesor Tomás para la clase de Fundamentos de Biotecnología .....	306
<b>Tabla 18.</b> Síntesis de las clases sistematizadas caso P.2.....	307
<b>Tabla 19.</b> Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC en acción del profesor Tomás.....	311
<b>Tabla 20.</b> Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC en acción del profesor Tomás .....	386



## **INTRODUCCIÓN**

Cuando empezó esta investigación, en el año 2014, señalábamos que en Colombia los contenidos biotecnológicos no se encontraban plenamente identificados en los estándares curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2004), lo que no había sido impedimento para que desde años atrás algunos docentes de Ciencias Naturales incluyeran contenidos de la Biotecnología en el desarrollo de las temáticas de sus clases, de forma independiente, o a través de su vinculación a proyectos pedagógicos como los de los grupos del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional, Biosec y Bio-Educación, el Grupo Biotecnología y Educación de la Universidad Pedagógica Nacional, o los proyectos de Educación Media Fortalecida con énfasis en Biotecnología, liderados por la Secretaría de Educación de Bogotá.

Durante el transcurso de la investigación, apreciamos con agrado que en el año 2017 el Ministerio de Educación Nacional presentó a la comunidad educativa del país una propuesta de orientación curricular para el área de Ciencias Naturales denominada Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), en la que se explicitan los aprendizajes estructurantes para un grado y un área particular.

De manera particular el documento plantea dentro de los DBA para el grado décimo el enunciado: [El estudiante] *Comprende que la biotecnología conlleva el uso y manipulación de la información genética a través de distintas técnicas (fertilización asistida, clonación reproductiva y terapéutica, modificación genética, terapias génicas), y que tiene implicaciones sociales, bioéticas y ambientales* (MEN, 2017); lo que nos lleva a afirmar que hoy en día algunos contenidos asociados a la Biotecnología son considerados explícitamente por el gobierno nacional como parte de los contenidos del área de Ciencias Naturales en la educación secundaria del país.

Este panorama coincide con lo señalado por Mweene; Mumba y Chitiyo (2011), para quienes, en respuesta al rápido desarrollo de la Biotecnología y su importancia para la sociedad, los currículos escolares de distintos países del mundo empiezan a reconocer e incluir la enseñanza de la Biotecnología, y con lo indicado por France (2007), para quien la tendencia internacional es la inclusión de la Biotecnología moderna en el currículo de la asignatura de Biología perteneciente a los últimos años de la escuela secundaria.

En este orden de ideas, nuestra investigación se origina en la pertinencia de contribuir a la generación y/o enriquecimiento de propuestas curriculares encaminadas a la inclusión de la Biotecnología tanto en diferentes niveles escolares como en los programas de formación docente

en el país, tomando como base la caracterización del conocimiento profesional del profesor para la enseñanza de la Biotecnología a partir de su práctica y experiencia.

Dada la complejidad que presenta el estudio del conocimiento profesional del profesor, desarrollamos como eje central de ésta investigación doctoral la caracterización de los que consideramos dos de sus componentes: el conocimiento didáctico del contenido biotecnológico y el conocimiento sobre la disciplina de dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

Es importante señalar así, que la caracterización del Conocimiento Didáctico del Contenido que desarrollamos incluyó la identificación y descripción de sus componentes, así como la caracterización de las relaciones entre tales componentes, en términos de su direccionalidad y niveles de complejidad, lo que nos llevó a hablar de la caracterización de la estructura del Conocimiento Didáctico del Contenido de los profesores investigados.

Adicionalmente y en aras de entender mejor el conocimiento de los profesores estudiados, partimos de la consideración que lo que particulariza su conocimiento como profesores no es su conocimiento acerca de la Biotecnología, sino su conocimiento sobre la Biotecnología, por lo que, luego de hacer el desarrollo teórico correspondiente, incluimos en esta caracterización la identificación y descripción de los componentes del conocimiento sobre la Biotecnología de los dos profesores estudiados.

Finalmente, presentamos las relaciones que ocurren entre el Conocimiento Didáctico del Contenido y el Conocimiento sobre la Biotecnología, buscando no solo contrastar ambos casos, sino, además, destacar las relaciones que potencian o limitan la enseñanza de la Biotecnología, así como posibles implicaciones en la enseñanza de la Biotecnología en la escuela.

Los resultados de esta investigación dan cuenta de las características de los procesos de enseñanza de la Biotecnología de los dos profesores estudiados, mostrando al mismo tiempo las ventajas de incorporar la Biotecnología como contenido de enseñanza en la escuela, entre ellas, el fortalecimiento de un posicionamiento crítico de los estudiantes respecto a los avances contemporáneos de la ciencia y la tecnociencia, y, la comprensión global de los procesos y aplicaciones de la Biotecnología presentes actualmente en distintas situaciones de la cotidianidad. De igual manera la investigación presenta ciertos elementos de reflexión, a los profesores estudiados acerca de sus prácticas educativas, y sobre la enseñanza de la Biotecnología en Bogotá.

A continuación, presentamos de manera general la descripción de los cinco capítulos que constituyen el informe de esta tesis de investigación:

El primer capítulo describe la *contextualización y delimitación del problema de investigación*, las preguntas orientadoras y los objetivos de la investigación.

El segundo capítulo presenta los *referentes teóricos y antecedentes que sustentan la investigación*, organizados en cuatro apartados que hacen referencia a: los referentes teóricos relacionados con el conocimiento profesional del profesor, los referentes teóricos acerca de la Biotecnología, una descripción del desarrollo de la Biotecnología en Colombia y, los principales antecedentes de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Biotecnología a nivel internacional y nacional.

El tercer capítulo describe la *metodología*, así, muestra la perspectiva metodológica bajo la que se desarrolló la investigación y describe las diversas fases del diseño procedimental: la configuración de los casos que conformaron el caso múltiple, la obtención de los datos de investigación, la sistematización de los datos de investigación y el análisis de los datos de investigación. También se describen los aspectos éticos considerados.

El cuarto capítulo *resultados y análisis* presenta los resultados y hallazgos en relación con el CDC en acción, el CDC declarativo y los referentes sobre la Biotecnología de los dos profesores estudiados, así como la discusión acerca de las relaciones entre su conocimiento sobre la Biotecnología y su CDC.

El quinto capítulo muestra las *conclusiones* de la investigación, en relación a los objetivos planteados. Presentamos las conclusiones en cuatro apartados relacionados con: los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología, las relaciones entre componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología, las características del Conocimiento sobre la Biotecnología y, las relaciones entre los anteriores conocimientos. Finalmente encontramos las conclusiones a nivel metodológico.

Por último, presentamos las referencias bibliográficas, en las que relacionamos los autores que acreditan y soportan esta investigación.

# ***CAPÍTULO I: CONTEXTUALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN***

En este capítulo ponemos de manifiesto los elementos que permiten contextualizar, plantear y delimitar nuestro problema de investigación. Para ello presentamos algunas ideas acerca de la relación entre el avance de la Biotecnología y la incorporación de contenidos de enseñanza asociados a ella en los currículos, esbozamos luego la situación de la enseñanza de la Biotecnología en Colombia, dando paso al establecimiento de la necesidad de su enseñanza en un país como el nuestro, en el que, dadas sus riquezas en biodiversidad y privilegiada posición geográfica, existen variedad de opciones de desarrollo biotecnológico. A continuación, resaltamos la importancia de la investigación relacionada con la caracterización del Conocimiento Profesional del Profesor de Biotecnología, dando cuenta de algunas investigaciones que se constituyen en antecedentes al respecto, y que tienen que ver con el papel de los profesores en la enseñanza de la Biotecnología y con su Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de la Biotecnología. Continuamos entonces con la presentación de la pertinencia de la investigación, orientada a indagar y caracterizar dos de los componentes del conocimiento profesional de profesores de Biotecnología, su CDC y su Conocimiento sobre la Biotecnología. Por último, explicitamos las preguntas y objetivos de investigación.

## **1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Aunque sus orígenes se remontan a muchos siglos atrás, desde la década de los 70 del siglo pasado, la Biotecnología ha venido experimentando extraordinarios avances debido al progreso de la Biología Molecular y la Ingeniería Genética. Este rápido desarrollo ha contribuido a su vez al avance de sectores como la medicina, la agricultura y la industria, presentando al mismo tiempo polémicas y debates científico tecnológicos a la sociedad (Cabo, Enrique, García-Peña y Cortiñas, 2005; Hanegan y Bigler, 2009), relacionados con asuntos como la modificación genética de organismos unicelulares, el diagnóstico genético, la biorremediación, la clonación de células o tejidos con fines terapéuticos, los experimentos con animales y la clonación de éstos para obtener sustancias terapéuticas y, la modificación genética de plantas para incrementar su resistencia a plagas y mejorar sus propiedades, entre otros (Acevedo, 2006a).

En este orden de ideas, y de acuerdo con Muñoz (2004), podemos decir que la diversidad de temas que presentan dichos debates es consecuencia del carácter transversal e interdisciplinar de la Biotecnología y de sus profundas relaciones con la economía y el comercio de poderosas

industrias, los intereses nacionales, regionales o locales, la cultura, la moral y la religión. Al respecto, es fundamental reconocer también, como lo afirma Sentís (2004), que en la mayoría de los casos son los medios de comunicación los encargados de informar y presentar los resultados de las investigaciones biotecnológicas al público en general, modificando en cierto modo el mensaje, al añadir un filtro subjetivo tanto en la percepción del significado, como en la valoración de su importancia, a través del señalamiento de las partes que consideran de mayor interés para los destinatarios.

Como consecuencia de lo anterior, a menudo la ciudadanía se encuentra con titulares atractivos y resúmenes simplistas, en los que se destacan las consecuencias y las predicciones más sensacionalistas del descubrimiento y con noticias que, en su contenido, pueden exaltar la Biotecnología desde sus potenciales beneficios, o condenarla a raíz de sus implicaciones bioéticas (Muñoz, 2002) o con debates y sondeos, por lo general orientados a evaluar la percepción de lo biotecnológico en la opinión pública y a enfatizar sobre la aceptación o el rechazo de la implementación de las biotecnologías y sus productos (Lardone, 2009). La participación de los ciudadanos en tales debates requiere que las personas conozcan los fundamentos científicos y tecnológicos involucrados, razón por la cual resulta esencial la inclusión de la Biotecnología en la formación científica ciudadana (Hark, 2008; Steele y Aubusson, 2004; Kidman, 2009; Ocelli, 2013a).

Es así como, desde la perspectiva de la alfabetización científico – tecnológica, necesaria hoy, para poder participar democráticamente como ciudadanos responsables en el cada vez más tecnológico mundo contemporáneo (Acevedo, Manassero y Vásquez, 2002), uno de los desafíos para la escuela se constituye precisamente en presentar a los estudiantes herramientas que contribuyan tanto a la comprensión general de los fenómenos biotecnológicos como a la adopción de una posición crítica frente a sus implicaciones, a partir de la cual poder tomar sus propias decisiones (Steele y Aubusson, 2004; Cabo et al., 2005; Dawson y Soames, 2006; Kidman, 2009; Garritz y Velásquez, 2009; Fonseca, Costa, Lencastre y Tavares, 2012; Ocelli, Gardenal y Valeiras, 2012; Ocelli, 2013b).

Debemos decir entonces, que en los últimos años varios países, incluido Colombia, han venido incorporando la Biotecnología en sus currículos, persiguiendo como finalidades la anteriormente mencionada alfabetización científico – tecnológica de la ciudadanía (Dunham, Wells y White; 2002; Steele y Aubusson, 2004; Dawson y Soames, 2006; France, 2007; Pedrancini et al., 2008; Kidman, 2009; Mweene et al., 2011; Fonseca et al., 2012; Ocelli et al., 2012; Ocelli, 2013b), la generación de habilidades y competencias científicas y/o laborales o de emprendimiento (Valbuena, 1998; Melo, Mondragón y Wilches, 2001; Arroyo, 2011; Corporación Biotec; 2011, Delgado, 2012; Bejarano y Basto, 2011; Borgerding, Sadler y Koroly, 2013) y, el mejoramiento de

los procesos de enseñanza – aprendizaje de las Ciencias Naturales (Valbuena, 1998; Pedrancini, Corazza-Nunes, Bellanda, Olivo y Ribeiro, 2007; Roa et al., 2008; Kidman, 2009).

En el caso de Colombia en particular, vale resaltar que para el año 2017 el Ministerio de Educación Nacional (MEN) incluyó dentro de los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA) planteados para el grado décimo contenidos asociados a la Biotecnología, con lo cual, podemos señalar que algunos contenidos biotecnológicos son considerados explícitamente por el gobierno nacional como parte de los contenidos del área de Ciencias Naturales de la educación media del país.

Cabe resaltar, además, que, aunque en Colombia no existe una licenciatura orientada a la formación específica de profesores de Biotecnología, algunos docentes de ciencias naturales de los niveles de educación secundaria y media se han preocupado por la enseñanza de contenidos biotecnológicos en la escuela.

Es así como, a partir de la revisión bibliográfica, evidenciamos que antes del año 2017 algunos docentes habrían desarrollado proyectos pedagógicos encaminados a familiarizar a los estudiantes de los niveles de educación básica secundaria y media con la implementación de aplicaciones biotecnológicas (Melo et al., 2001; Bejarano y Basto, 2011; Corporación Biotec, 2011; Delgado, 2012) o se habrían acogido a las propuestas de diferentes grupos de investigación, entre ellos los grupos Biosec y Bio-Educación de la Universidad Nacional de Colombia (Grupo de Incorporación de la Biotecnología en la educación básica y media, 1998; Grupo Bio-Educación, 2007), la Línea de Investigación en Biotecnología y Educación de la Universidad Pedagógica Nacional (Roa, García y Chavarro, 2008) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), orientadas a la generación de estrategias para la enseñanza y aprendizaje de la Biotecnología en las aulas escolares, así como a la capacitación docente en relación con temáticas propias de la Biotecnología, con lo que poco a poco se han venido adaptando, planteando e incorporando elementos de Biotecnología en los currículos de Ciencias Naturales de algunas instituciones educativas de nuestro país.

En este sentido, podemos mencionar además que, en el año 2014, la Universidad Nacional de Colombia ofreció un diplomado para profesores de Ciencias Naturales denominado *Diplomado en Didáctica de las Ciencias Naturales con elementos de Biotecnología*, mientras que, durante el 2016, la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC) ofertó el diplomado llamado *Biotecnología para profesores*, y que ambos diplomados se llevaron a cabo en la ciudad de Bogotá.

Y es que, en un país como Colombia, con enormes riquezas en biodiversidad y privilegiada posición geográfica, el desarrollo biotecnológico, dirigido a mejorar la actividad propia de sectores productivos como el agropecuario, la salud, la protección del medio ambiente y la industria, no se ha hecho esperar (Buitrago, 2012), lo que de alguna manera ha llevado a instituciones del sector educativo a preocuparse por la enseñanza de contenidos de Biotecnología en las aulas de clase del país.

En este sentido, Colciencias reporta que, en el sector agrícola las investigaciones se orientan a la transformación vegetal y a los biofertilizantes y biopesticidas y que también se han desarrollado investigaciones relacionadas con resistencia o tolerancia a patógenos y con la caracterización molecular de especies de interés económico; que en el sector salud es notable el desarrollo de investigaciones relacionadas con el empleo de anticuerpos monoclonales para la obtención de sistemas de diagnóstico y el desarrollo de técnicas de ADN recombinante aplicadas a la alergología experimental y; que en los aspectos medio ambientales se ha dado inicio, con el apoyo del sector privado, al desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales (Colciencias – Corpogen, 2008).

De igual manera, es importante recalcar la presencia de distintos cultivos genéticamente modificados, los cuales han sido progresivamente autorizados para su comercialización desde el año 2003, cuando el Ministerio de Agricultura permitió la liberación de algodón transgénico inicialmente en Córdoba y, luego en el Tolima, Huila y Valle (Gómez, 2011).

Todo lo anterior reitera la importancia de seguir fomentando la inclusión de la Biotecnología en el sistema educativo del país, con lo cual empoderar a la población colombiana de los conocimientos que les permitan comprender la situación en cuanto al desarrollo biotecnológico de Colombia, asumir una posición crítica y fundamentada frente a las noticias, debates y polémicas relacionadas con productos y desarrollos biotecnológicos, valorar la riqueza en biodiversidad del país y aportar significativamente al avance de la investigación biotecnológica encaminada principalmente al desarrollo y progreso de nuestra nación.

Somos por tanto los docentes los llamados a desempeñar un papel vital en la promoción de la educación en Biotecnología (Bryce y Gray, 2004; Hanegan y Bigler, 2009; Steele y Aubusson, 2004), ayudar a nuestros estudiantes a entender lo que es la Biotecnología, y las controversias que ésta genera es un paso importante en la preparación de los futuros ciudadanos, pero para poderlos ayudar a tomar decisiones informadas al respecto, debemos contar con conocimientos y preparación acerca de lo qué es la Biotecnología (Leslie y Schibeci, 2003) y cómo enseñarla, razón por la cual cobra gran importancia la investigación relacionada con la caracterización del Conocimiento Profesional del Profesor (CPP) de Biotecnología, entendiendo el CPP como un

“conocimiento específico que identifica a los docentes y que les faculta para ejercer de una manera profesional la enseñanza, diferente a como lo podría hacer un profesional de otra área” (Valbuena, 2007, p.21).

A este respecto encontramos que son escasas las investigaciones que han indagado acerca del papel de los profesores en cuanto a la enseñanza de la Biotecnología y de las características de esa enseñanza. En este sentido notamos que en cuanto a los profesores que enseñan Biotecnología, se han investigado sus opiniones (Cabo et al., 2005), sus creencias (Fonseca et al., 2012), sus intereses (Cabo et al., 2005; Steele y Aubusson, 2004; Kidman, 2009), sus actitudes (Kidman, 2009; Dawson y Soames; 2006), sus estrategias de enseñanza (Ocelli et al., 2012; Borgerding et al., 2013; Ocelli et al., 2014) y sus conocimientos (Moreland, Jones y Cowie, 2006; Garritz y Velásquez, 2009); reconociendo en todos los casos la importancia del rol del profesor en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Biotecnología y de conocer más sobre su incidencia en estos procesos.

Así, en cuanto al Conocimiento Didáctico del Contenido de los profesores de Biotecnología, uno de los componentes del CPP, la revisión da cuenta de pocas investigaciones adelantadas a través del estudio de la práctica docente. Una de ellas fue llevada a cabo en México (Garritz y Velásquez, 2009) y otra en Nueva Zelanda por Moreland et al. (2006). A este respecto cabe señalar, que en ambos casos los autores realizan planteamientos acerca de las características y los componentes del PCK/CDC para la enseñanza de la Biotecnología, los cuales derivan de la metodología empleada (que en ambos casos incorpora la observación de las clases, aunque difiere respecto a los instrumentos de recolección y análisis de la información), y son presentados a manera de inferencias, sin llegar a establecer posibles relaciones entre dichos componentes.

En Colombia, por su parte, se adelantó una investigación doctoral, encaminada a generar análisis de los elementos que configuran el conocimiento profesional del profesor de ciencias para la enseñanza de la Biotecnología a través de la revisión documental de las publicaciones nacionales e internacionales sobre la educación en Biotecnología de los últimos 30 años (Roa, 2016). No obstante, no existe ningún registro acerca de investigaciones en el país, desarrolladas a partir del análisis de las prácticas docentes de profesores que enseñan Biotecnología.

Por otro lado, cabe mencionar que las investigaciones también se han preocupado por el conocimiento biotecnológico de profesores de Ciencias Naturales. En este orden de ideas, en Colombia, Valbuena (1998) llama la atención acerca del deficiente nivel de actualización de los docentes de Biología en cuanto a la Biotecnología, indicando que en un estudio realizado con un grupo de 26 profesores de Ciencias Naturales de Bogotá se evidenció que en más del 50% se presentaban dificultades a nivel conceptual y también que más de la mitad de la población



estudiada manifestó que nunca o tan solo algunas veces accedían a información de actualización en Biotecnología (Becerra y Mojica, 1996, citado por Valbuena, 1998).

A este respecto, investigaciones de otras regiones del mundo, dan cuenta de resultados que difieren entre sí. De acuerdo con Fonseca et al. (2012), dada su preparación académica, los profesores se sienten competentes para enseñar Biotecnología; Steele y Aubusson (2004) indican que aunque los maestros sienten la necesidad de aprender más acerca de la Biotecnología, no reportan esto como un problema para su enseñanza, mientras que según Borgerding et al. (2013) los profesores manifiestan que una de sus preocupaciones más importantes en cuanto a la enseñanza de la Biotecnología radica en la falta de conocimiento de éstos contenidos.

En cuanto a las creencias sobre la Biotecnología que sostienen los profesores, la revisión adelantada da cuenta de una sola investigación, desarrollada por Fonseca et al., (2012). Los autores señalan que, dado el carácter marcadamente multidisciplinario, así como la naturaleza polémica y controvertida de algunos temas de Biotecnología, la enseñanza de la misma inevitablemente conlleva a que los maestros tomen decisiones de acuerdo con las creencias que tienen sobre la Biotecnología y la educación biotecnológica.

El panorama anterior nos deja ver así, que las investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Biotecnología son escasas -mucho más las que tienen que ver con el conocimiento del profesor- es decir, son pocos los estudios realizados con el fin de identificar las características del conocimiento profesional de aquellos profesores en ejercicio que están asumiendo la enseñanza de la Biotecnología, lo que contrasta con el rápido desarrollo de la Biotecnología y su influencia en distintos sectores de la sociedad.

Esta situación nos lleva a reiterar la importancia de la investigación del conocimiento profesional del profesor de Biotecnología, a partir de la cual generar nuevo conocimiento que redunde en la calidad de la enseñanza de la Biotecnología y el aprendizaje de los estudiantes.

Sin embargo, desarrollar una investigación acerca del CPP, se constituye en una tarea compleja. La revisión de la literatura permite evidenciar distintos enfoques y, por tanto, distintas propuestas respecto a la estructura de éste conocimiento, en términos de sus orígenes, sus componentes y las relaciones entre ellos. De acuerdo con lo anterior, en esta investigación hemos decidido enfocarnos en dos de los componentes del CPP: el Conocimiento sobre la Disciplina y el Conocimiento Didáctico del Contenido (Shulman 1986, 1987; Grossman, 1990; Marcelo, 1992; Carlsen, 1999; Magnusson, Krajcik y Borko, 1999; Martín del Pozo y Porlán, 1999).

De esta manera, y teniendo en cuenta, como ya hemos dicho, que en los últimos años, la Biotecnología se ha venido incorporando a los currículos escolares, que en Bogotá se enseñan contenidos biotecnológicos en varias instituciones de educación secundaria y media, y además que la Biotecnología ejerce hoy en día un gran impacto en la sociedad de nuestro país, planteamos la necesidad de investigar dos de los componentes del Conocimiento Profesional del Profesor de Biotecnología: El CDC y el Conocimiento sobre la Biotecnología; convencidos de que los resultados de la investigación, además de unirse a las pocas investigaciones desarrolladas al respecto, tanto a nivel internacional como nacional, permitirán desarrollar un trabajo reflexivo orientado a brindar aportes a la generación y/o enriquecimiento de propuestas curriculares encaminadas tanto a la inclusión de la Biotecnología en los niveles de educación básica secundaria y media, como en los programas de formación y actualización docente.

Desde este supuesto, en esta investigación proponemos la caracterización del CDC y el Conocimiento sobre la Biotecnología de los profesores investigados, a partir de la identificación y caracterización de los componentes de estos dos tipos de conocimiento, de la caracterización de las relaciones entre los componentes del CDC y, del establecimiento de las relaciones entre el CDC y el Conocimiento sobre la Biotecnología.

Este planteamiento trasciende en gran medida las propuestas de investigación respecto al CDC de la Biotecnología, y nos permite comprender holísticamente dos de los grandes componentes del Conocimiento Profesional del Profesor de Biotecnología, aportando conocimiento valioso en cuanto a los conocimientos sobre los contenidos, estrategias, propósitos de la enseñanza de la Biotecnología, así como de los referentes epistemológicos acerca de la Biotecnología, que esperamos permee, no solo las prácticas de los profesores investigados, sino también, las prácticas de muchos profesores más, en términos de la planeación y desarrollo de los programas curriculares de inclusión de la Biotecnología en la formación ciudadana del país.

## **1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, planteamos la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué caracteriza el conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido que poseen dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá?

Pregunta, a la que, de acuerdo a la contextualización y delimitación del problema presentados previamente, subyacen otros cuestionamientos relacionados, tales como:

En dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá:

- ¿Cuáles son los componentes que constituyen su Conocimiento Didáctico del Contenido?, ¿Cómo se relacionan esos componentes?
- ¿Cuáles son los componentes que constituyen su Conocimiento sobre la Biotecnología?, ¿Qué caracteriza esos componentes?
- ¿Cómo se relacionan sus conocimientos Didáctico del Contenido biotecnológico y sobre la Biotecnología?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo General**

Caracterizar el conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido, así como las relaciones entre estos, en dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

#### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar y caracterizar los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.
- Establecer y caracterizar las relaciones entre los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido en los dos profesores estudiados.
- Identificar y caracterizar los componentes del Conocimiento sobre la Biotecnología de dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.
- Establecer las relaciones entre el Conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido de los profesores estudiados.

## ***CAPÍTULO II: REFERENTES TEÓRICOS Y ANTECEDENTES QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN***

Las bases conceptuales y los antecedentes que enmarcan esta investigación hacen referencia a dos elementos fundamentales. En primer lugar, encontramos el Conocimiento Profesional del Profesor, el cual presentamos de manera somera, para luego profundizar en las diversas propuestas para entender, establecer y caracterizar dos de sus componentes: el Conocimiento Didáctico del Contenido y el Conocimiento sobre la Disciplina, en los que hemos centrado esta investigación doctoral. En segundo lugar, nos ocupamos de la Biotecnología, en lo que tiene que ver con su epistemología y su desarrollo en el país, para pasar luego a la revisión en cuanto a los antecedentes de la enseñanza de la Biotecnología, tanto a nivel nacional como internacional.

De esta manera, en el desarrollo de este capítulo presentamos inicialmente un breve recorrido histórico acerca de la manera cómo se ha entendido y teorizado el Conocimiento Profesional del Profesor, esbozando miradas anglosajonas, como la de Shulman (1986, 1987), referida a los conocimientos base para la enseñanza y que ha orientado gran parte de las propuestas en el mundo acerca del conocimiento del profesor, y la de Tardif (2004), investigador canadiense para quien los docentes son sujetos de investigación que articulan diversos saberes procedentes de su formación profesional, experiencial o práctica, construidos a lo largo de su vida y de su trayectoria profesional; así como miradas iberoamericanas, como las del Proyecto Curricular IRES, a través de autores como Porlán y Rivero (1998) y Porlán, Rivero y Martín del Pozo (1997), quienes describen el conocimiento profesional dominante y el conocimiento profesional deseable de los profesores, haciendo énfasis en la importancia de incluir las experiencias prácticas y creencias de los profesores dentro de su conocimiento profesional. Incluimos también la discusión y consenso de académicos de orden internacional, en lo que se denominó la cumbre del PCK, desarrollada en octubre de 2012 en Colorado Springs, EE. UU (Gess-Newsome, 2015).

Nos detenemos luego en el Conocimiento Didáctico del Contenido, el cual, de acuerdo a los objetivos de la tesis doctoral, desarrollamos de una forma más amplia y completa. Inicialmente explicitamos las razones por las que, en nuestra investigación, al igual que en otros trabajos del ámbito iberoamericano, traducimos el término *Pedagogical Content Knowledge*, propuesto por Shulman (1986, 1987) como Conocimiento Didáctico del Contenido, desarrollando los respectivos argumentos que nos llevan a asumir dicho constructo en nuestra investigación. De allí pasamos a la presentación de algunos modelos que representan la estructura del PCK/CDC y que derivan de las interpretaciones de autores como Magnusson, Krajcik y Borko (1999) y Park y

Oliver (2008), para luego definir y diferenciar lo que en esta tesis entendemos por CDC declarativo y CDC en acción.

Acto seguido, pasamos a problematizar y describir brevemente las principales tendencias en cuanto a la investigación en torno a la integración de los componentes del PCK/CDC de profesores de Ciencias Naturales, para luego referir el posicionamiento respecto a los componentes del CDC desde el cual presentamos los resultados de nuestra investigación.

En ese orden, pasamos luego a referirnos al otro componente del Conocimiento Profesional considerado en esta investigación: el Conocimiento Disciplinar, que en esta tesis hemos denominado Conocimiento sobre la Disciplina. Partimos así, de presentar las relaciones que de acuerdo a los autores revisados existen entre el Conocimiento Didáctico del Contenido y el Conocimiento Disciplinar, para posteriormente definir el Conocimiento Disciplinar como el Conocimiento sobre la Disciplina y, plantear los componentes del Conocimiento sobre la Disciplina del profesor que enseña Biotecnología considerados en esta investigación.

Otro elemento conceptual al que nos referimos en este capítulo tiene que ver con la Biotecnología. A ese respecto, en primer lugar, presentamos el significado del término Biotecnología, un análisis de las diversas definiciones que se presentan en la literatura y, la ambigüedad alrededor de su estatus epistemológico, para pasar a identificarla como una tecnociencia y describir así las características de su estructura sustantiva y sintáctica. Hacemos además una aproximación al desarrollo actual de la Biotecnología en Colombia.

Para finalizar, nos referimos a los antecedentes de la enseñanza de la Biotecnología. Presentamos entonces los principales antecedentes de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la Biotecnología a nivel internacional, nacional y local con el fin de mostrar las tendencias encontradas.

## **2.1 EL CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR**

En el contexto educativo se han desarrollado numerosos estudios centrados en el papel desempeñado por el conocimiento de los profesores en los procesos de enseñanza y aprendizaje. En sus comienzos, las investigaciones intentaron encontrar relaciones estadísticas entre lo que los profesores sabían y el logro de sus estudiantes, de manera que, de acuerdo con Grossman et al. (1989), dentro del paradigma denominado *presagio-producto* las investigaciones intentaban establecer relaciones entre el conocimiento del profesor, representado por el total de clases que había tomado en una materia, un promedio de sus calificaciones, su puntuación en un test de

ejecución y, los resultados de los estudiantes en pruebas estandarizadas, de forma que, los investigadores podían establecer cuánto conocían los profesores, pero no cómo estaba organizado, justificado o validado ese conocimiento, ni tampoco las relaciones entre el conocimiento del profesor y lo que los estudiantes aprendían.

Más adelante las investigaciones se orientarían, desde una perspectiva cognitiva, a estudiar los procesos de razonamiento, juicio y toma de decisiones que contribuyen al desarrollo del conocimiento del profesor (Marcelo, 1992), dando origen a la línea de investigación denominada ***Pensamiento del Profesor***, la cual dirigiría su atención al profesor como planificador, pensador y tomador de decisiones.

Los primeros estudios realizados al interior de esta línea de investigación se centraron en la comparación entre profesores expertos y profesores noveles y plantearon distintas cuestiones respecto de los componentes del conocimiento del profesor, sus características, su naturaleza, etc. El acercamiento a estos problemas se realizó desde diferentes perspectivas, entre ellas, a través de los aportes de la psicología cognitiva, el análisis de los procesos de aprender a enseñar y, del desarrollo profesional, centrando la atención esta vez en la práctica docente (Estepa, 2002).

De este modo, según Clark y Peterson (1990, citados en Perafán 2002) las premisas fundamentales de esta línea de investigación radicarán en concebir al profesor como un sujeto reflexivo, racional, que toma decisiones, emite juicios, tiene creencias y genera rutinas propias de su desarrollo profesional; y en considerar que los conocimientos del profesor influyen sustancialmente en su conducta e incluso la determinan, mediando así significativamente sus acciones de aula.

Teniendo en cuenta lo anterior, cabe señalar que, tanto en el ámbito anglosajón, como en el ámbito iberoamericano, han surgido varias investigaciones llevadas a cabo dentro del paradigma del pensamiento del profesor, que han derivado en diferentes posturas respecto del Conocimiento Profesional del Profesor, a las cuales nos referiremos muy brevemente en el siguiente apartado.

### **2.1.1 Perspectivas de estudio del Conocimiento Profesional del Profesor**

A continuación, presentamos algunas de las perspectivas de estudio del Conocimiento Profesional del Profesor, esbozando de manera muy somera sus principales consideraciones en cuanto a la forma de entender dicho conocimiento, y de igual manera, sus aportes al entendimiento del Conocimiento Profesional del Profesor en esta investigación.

### 2.1.1.1 La propuesta de Shulman: Los conocimientos base para la enseñanza

En 1986, con los trabajos de Lee S. Shulman, profesor de la Universidad de Standford, las investigaciones desarrolladas acerca del conocimiento del profesor dan un giro y se orientan hacia el conocimiento de los profesores respecto a los contenidos que enseñan. En este sentido y como afirma Elmore (1992, citado por Marcelo, 1992), la investigación educativa se plantea que es probable que la enseñanza varíe considerablemente dependiendo de la disciplina que se enseñe, de modo que la investigación sobre la enseñanza pasa de tratar de identificar destrezas docentes generales a establecer las relaciones entre la enseñanza y el aprendizaje de disciplinas específicas.

En ese año, Shulman, al referirse a los componentes del “conocimiento base” para la enseñanza, planteó una propuesta acerca del Conocimiento Profesional del Profesor, en la que señaló la interacción entre el contenido de la materia (*subject matter*) y la pedagogía como el paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza (Shulman, 1986) e, identificó tres categorías del conocimiento del profesor:

- a) *Conocimiento disciplinar*:** la cantidad y organización del conocimiento *per se* en la mente del profesor. Según Shulman, para pensar adecuadamente el conocimiento del contenido de la materia se requiere tener en cuenta las estructuras de una disciplina (Schwab, 1978), es decir, la *estructura sustantiva* - la variedad de formas en las cuales los conceptos básicos y los principios de una disciplina son organizados para incorporar sus hechos - y la *estructura sintáctica* – el conjunto de formas en las cuales la verdad o falsedad, la validez o la invalidez, de las afirmaciones respecto a un fenómeno son establecidas; con lo que, “al conocer la estructura sustantiva y sintáctica de una disciplina, los profesores no solo podrán definir a los estudiantes las verdades aceptadas en esa disciplina, sino que también serán capaces de explicar por qué una proposición particular se considera justificada, por qué vale la pena conocerla, y cómo ésta se relaciona con otras proposiciones, tanto dentro de la disciplina como fuera, tanto en la teoría como en la práctica” (Shulman, 1986, p. 9).
  
- b) *Conocimiento Pedagógico del Contenido*:** el cual va más allá del conocimiento disciplinar *per se* hasta la dimensión del conocimiento disciplinar *para la enseñanza*. De acuerdo con Shulman, el Conocimiento Pedagógico del Contenido (PCK<sup>1</sup>) incluye “los tópicos más regulares de enseñanza de una materia, las formas más útiles de representación de sus ideas, las más poderosas analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones – en una palabra, las formas de representar y formular la disciplina para que sea comprensible por

---

<sup>1</sup> Por las siglas del término en inglés Pedagogical Content Knowledge

otros - [...] también incluye la comprensión de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos: las concepciones e ideas previas que estudiantes de diferentes edades y orígenes tienen sobre los temas y lecciones más frecuentemente enseñados” (Shulman, 1986, p. 9).

**c) *Conocimiento curricular:*** la comprensión de las alternativas curriculares disponibles para la instrucción, entendiendo el currículo como el amplio rango de programas diseñados para la enseñanza de materias particulares y tópicos a un nivel dado, la variedad de materiales educativos disponibles en relación con esos programas, y el conjunto de características que sirven tanto como indicaciones como contraindicaciones para el uso de un currículo en particular o de un conjunto de materiales en circunstancias particulares.

Un año después, en 1987, Shulman refinaría éstas tres categorías en una lista más comprensible de siete (Kind, 2009): 1) conocimiento disciplinar, 2) conocimiento pedagógico general, el cual hace referencia a los amplios principios y estrategias de manejo de clase y organización que parecen trascender el conocimiento disciplinar, 3) conocimiento curricular, con especial comprensión de los materiales y programas que sirven como “herramientas de trabajo” para los profesores, 4) conocimiento pedagógico del contenido, esa especial amalgama entre el contenido y la pedagogía que constituye una esfera exclusiva de los maestros, su forma propia especial de comprensión profesional, 5) conocimiento de los estudiantes y sus características, 6) conocimiento de los contextos educativos, que va desde el funcionamiento del grupo o salón, el manejo y financiamiento de los colegios, hasta las características de las comunidades y culturas, y 7) conocimiento de las finalidades educativas, propósitos y valores, y sus bases filosóficas e históricas.

Según Shulman (1987), entre estas categorías, el conocimiento pedagógico del contenido cobra especial interés porque identifica los distintos cuerpos de conocimiento para la enseñanza. Así, el autor señala, “El conocimiento pedagógico del contenido representa la unión del contenido y la pedagogía dentro de la comprensión de cómo tópicos particulares, problemas, o cuestiones son organizados, representados y adaptados de acuerdo a los diversos intereses y habilidades de los estudiantes y presentados para su instrucción” (p. 8).

Podemos señalar entonces que, a través de su propuesta, Shulman, busca el reconocimiento de la profesión docente, al establecer el conocimiento del profesor como un conocimiento profesional, pero al mismo tiempo introduce la importancia del conocimiento del contenido como parte de los conocimientos necesarios para la enseñanza, enfatizando no sólo en las definiciones, leyes y principios, sino también en los aspectos histórico – epistemológicos y



sociales, que conlleven a una mejor selección de los contenidos de enseñanza, aspecto que consideramos fundamental en el desarrollo de esta tesis doctoral.

Adicionalmente, y de acuerdo con Shulman, pensamos que el conocimiento de los docentes debe comprender tanto las bases teóricas de la pedagogía -y la didáctica en nuestro caso-, como el conocimiento de la materia que se enseña, conocimientos que, de manera amalgamada -en términos de Shulman- dan origen al PCK y conllevan a que el profesor comprenda lo que los estudiantes han de aprender y cómo enseñarlo, buscando un mejor aprendizaje por parte de los estudiantes.

Finalmente, nos parece importante señalar que, desde su aparición, la propuesta de Shulman acerca del conocimiento pedagógico del contenido ha influido considerablemente en la investigación en el ámbito de la enseñanza, de forma tal que los estudios se han dirigido a tomar las categorías de conocimiento del PCK como un paradigma global para la formación del profesorado (Kind, 2009) y la investigación del conocimiento de los profesores.

#### **2.1.1.2 La perspectiva del Proyecto Curricular IRES**

A pesar de la relevancia concedida por el programa de investigación de Shulman al conocimiento disciplinar y las estrategias de enseñanza, varios autores han señalado importantes limitaciones de éste programa en relación con la caracterización del conocimiento profesional, al no conceder importancia al conocimiento derivado de la experiencia práctica del profesor.

En este sentido, cabe decir que desde la perspectiva del Proyecto Curricular IRES (Investigación y Renovación Escolar), el conocimiento de los profesores se puede categorizar de dos maneras, el que mayoritariamente existe (conocimiento profesional dominante), y el que debería existir (conocimiento profesional deseable) (Porlán y Rivero, 1998). En el **conocimiento profesional dominante** se distinguen cuatro componentes atendiendo a dos dimensiones, la dimensión epistemológica y la dimensión psicológica:

- a) *Los saberes académicos.* Conjunto de concepciones disciplinares que tienen los profesores, sean éstas relativas a los contenidos del currículum o a las Ciencias de la Educación.
- b) *Los saberes basados en la experiencia.* Conjunto de ideas consientes que los profesores desarrollan durante el ejercicio de la profesión acerca de diferentes aspectos de los procesos de enseñanza – aprendizaje.
- c) *Rutinas y guiones de acción.* Conjunto de esquemas tácitos que predicen el curso de los acontecimientos en el aula y que contienen pautas de actuación concretas y estandarizadas para abordarlos.

d) *Las teorías implícitas.* Se refieren más bien a un *no-saber* que, a un *saber*, en el sentido de que son teorías que pueden dar razón de las creencias y de las acciones de los profesores en función de categorías externas.

El conocimiento profesional dominante suele ser entonces el resultado de yuxtaponer estos cuatro tipos de saberes, que son de naturaleza diferente, se generan en momentos y contextos distintos, se mantienen relativamente aislados unos de otros en la memoria de los profesores y, se manifiestan en distintos tipos de situaciones profesionales o pre-profesionales.

El **conocimiento profesional deseable** es, a diferencia del anterior, la resultante de un complejo proceso de interacciones e integraciones de diferente nivel y naturaleza, organizado en torno a los problemas de la práctica profesional. Esta integración no es una mera yuxtaposición de contenidos procedentes de las diversas fuentes, sino que implica una profunda tarea de reelaboración y transformación epistemológica y didáctica.

Para el proyecto IRES las principales fuentes del conocimiento profesional deseable son:

- a) *Los saberes metadisciplinarios*, aquellos campos del saber que estudian las disciplinas y el conocimiento en general y las cosmovisiones ideológicas que presentan un alto grado de organización interna. Las nociones metadisciplinarias pueden actuar como categorías organizadoras en distintos ámbitos relacionados con el saber profesional, mientras que las ideologías, repercuten en las decisiones del docente tanto en lo teórico como en lo práctico.
- b) *Los saberes disciplinares básicos*, todas y cada una de las disciplinas que estudian variables implicadas en los procesos de enseñanza-aprendizaje, entre ellas se presentan el conocimiento de la materia, conocimientos psicopedagógicos y las didácticas específicas.
- c) *La experiencia profesional*, formando parte del conocimiento de los profesores, existen concepciones (sobre todo las referidas al conocimiento, a la enseñanza y al aprendizaje) elaboradas a partir de su propia experiencia, como algo natural, evidente y, por tanto, fuera de todo cuestionamiento y crítica. Las concepciones implícitas más frecuentes suelen corresponderse con los estereotipos sociales de la enseñanza institucionalizada, mientras que las concepciones explícitas parten y se dirigen a la acción y en ellas está presente un cierto nivel de reflexión, entre éstas se encuentran el conjunto de principios, concepciones, metáforas e imágenes que poseen los profesores acerca de las diferentes variables presentes en su experiencia profesional (Porlán, Rivero y Martín del Pozo, 1997).

Según los autores en mención, en la investigación del conocimiento profesional del profesor, lo que se requiere es comprender la naturaleza y características del conocimiento realmente existente entre el profesorado (conocimiento profesional dominante) con lo cual elaborar alternativas para mejorarlo, de tal manera que el profesor pueda abordar los problemas

profesionales con rigor y capacidad crítica, reconociendo, valorando y mejorando sus pautas de actuación profesional, siendo consciente de los dilemas éticos que le plantea su intervención.

Podemos notar entonces que, desde esta propuesta alternativa de investigación, existe un reconocimiento de un componente personal dentro del conocimiento profesional del profesor, el cual estaría representado por un conocimiento práctico conformado por sus creencias sobre qué es enseñar y aprender y por sus experiencias prácticas personales y profesionales. Aspecto que nosotros compartimos, en la medida en la que consideramos que los conocimientos y creencias de los profesores, adquiridas a través de sus experiencias de vida, tanto personales como profesionales y académicas, son un componente fundamental de su conocimiento profesional.

### **2.1.1.3 El enfoque de Tardif**

Alejándose un poco de los postulados epistemológicos que acabamos de revisar, Tardif (2004), a partir de sus investigaciones y reflexiones, realizadas durante doce años acerca de los saberes que sirven de sustento al trabajo y la formación de profesores de primaria y secundaria, propone otro enfoque alternativo del conocimiento del profesor<sup>2</sup>, basado en las categorías establecidas por los propios docentes y en los saberes que ellos utilizan en su práctica profesional cotidiana (Valbuena, 2007).

Según el autor, para enseñar, el profesor requiere movilizar y transformar una amplia variedad de saberes, de forma tal que el saber docente es heterogéneo, constituido por diversos saberes provenientes de las instituciones de formación, de la formación profesional, de los currículos y de la práctica cotidiana. En palabras suyas: “El saber no es una cosa que fluctúe en el espacio: el saber de los maestros es el saber de ellos y está relacionado con sus personas y sus identidades, con su experiencia de vida y su historia profesional, con sus relaciones con los alumnos en el aula y con los demás actores escolares del centro, etc. Por eso, es necesario estudiarlo relacionándolo con esos elementos constitutivos del trabajo docente” (Tardif, 2004, p. 10).

Con relación a los saberes que sirven de base para la enseñanza, el autor nos aclara, que éstos son al mismo tiempo, *existenciales*, *sociales* y *pragmáticos*. Son *existenciales* en el sentido que un maestro “no piensa sólo con la cabeza”, sino “con la vida”, con lo que ha sido, con lo que ha vivido, con lo que ha acumulado en términos de experiencia vital, no solo intelectual, sino también emocional, afectiva, personal e interpersonal. Son *sociales* porque provienen de fuentes

---

<sup>2</sup>Aunque Tardif no hace referencia explícita al término Conocimiento del Profesor, si da cuenta de los componentes y las características de ese conocimiento, por lo tanto, en este documento asumiremos que el término *saber del docente* es equivalente al término *Conocimiento del profesor*.

sociales diversas y se adquieren en tiempos sociales diferentes, también porque, en ciertos casos, los producen y legitiman explícitamente grupos sociales. Son *pragmáticos*, pues están ligados tanto al trabajo como a la persona del trabajador. Mediante el cumplimiento de las funciones docentes, se movilizan, modelan, adquieren, y demuestran las rutinas y la importancia que los educadores dan a la experiencia.

Cabe señalar además que para Tardif es evidente la dimensión temporal de los saberes del docente, esto es, que los saberes de un docente no solo se adquieren en y con el tiempo, sino que también se incorporan, a lo largo del proceso de socialización y de la carrera, a partir de experiencias nuevas, y se “remodelan” en función de los cambios de la práctica y de las situaciones de trabajo. Para el autor el tiempo contribuye poderosamente a modelar la identidad profesional de un profesor, así lo manifiesta cuando dice “Sólo al cabo de cierto tiempo, el *Yo personal* va transformándose poco a poco, en contacto con el universo laboral y se convierte en un *Yo profesional*”.

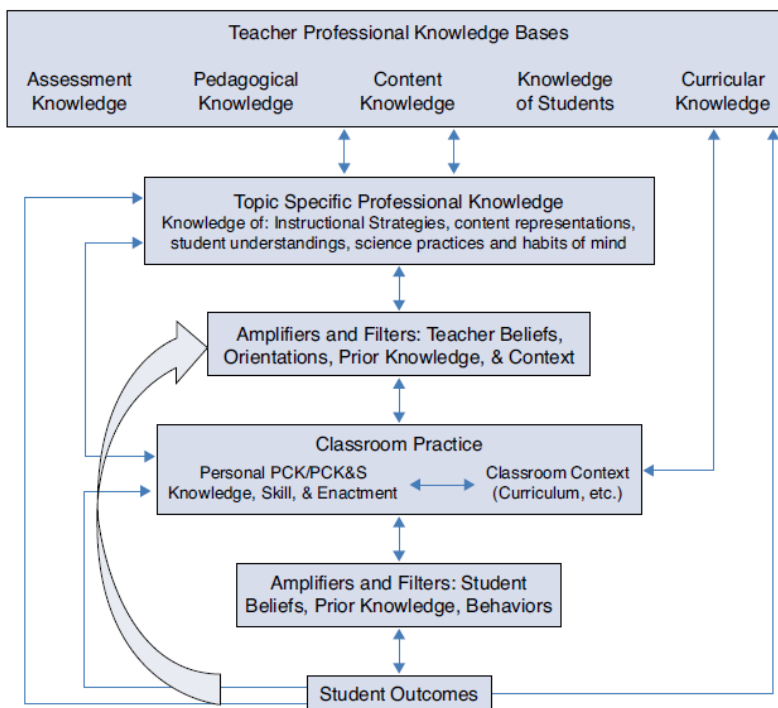
Podemos señalar entonces que el autor plantea un enfoque crítico de la investigación sobre el “saber de los docentes”, desde el cual mirar de otra manera los campos de acción del docente. Tardif propone que la idea de saber se asocie, de una forma global y sistemática a pensamientos, ideas, juicios, discurso, argumentos y que obedezca a ciertas exigencias de racionalidad, siendo el juicio profesional fundamento del saber docente. Por lo tanto, una de las estrategias de investigación que el autor plantea consiste en observar a los maestros o hablar con ellos, planteando preguntas en donde el maestro manifieste sus razones de actuar o de discutir para descubrir los saberes en los que se basa para actuar o hablar, lo que constituye su “episteme cotidiana”. El autor también propone reconocer que la racionalidad del docente está fuertemente acompañada por el “saber social”, saber común y compartido por una comunidad de actores, que se establece siempre en la relación del docente con el otro.

En esta tesis doctoral compartimos el lugar preferenciado que Tardif otorga a los docentes como sujetos de investigación y como sujetos productores de conocimiento, quienes, al reflexionar de manera conjunta con nosotros sobre su práctica, nos permiten comprender sus conocimientos desde una mirada holística, reconociendo la interrelación entre los elementos que componen su conocimiento, posibilitando al mismo tiempo que, a partir de dicha reflexión reconozcan algunos elementos de sus prácticas con una mirada crítica, que les lleve a replanteamientos y posibles mejoras.

#### 2.1.1.4 El modelo del conocimiento profesional docente de la cumbre del PCK

En octubre de 2012 se desarrolló una cumbre en Colorado Springs, EE. UU (*The PCK Summit*), con el propósito de discutir sobre las definiciones, aplicaciones e interpretaciones del PCK, el consenso construido durante la cumbre debería servir como una base sobre la cual los investigadores podrían avanzar en la investigación sobre el PCK (Park y Suh, 2015).

Durante la cumbre se aprobó el modelo de conocimiento profesional docente y habilidad (TPK&S, por las siglas en inglés de model of teacher professional knowledge and skill) que se muestra en la figura 1 y que es presentado por Gess-Newsome (2015). En el modelo se identifica el papel general del conocimiento profesional de los docentes y se incluye al PCK como parte de la complejidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje. De acuerdo con la autora, este modelo es bastante diferente al de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), tiene poder explicativo para la investigación existente, proporciona una forma más sólida y predictiva de pensar sobre el conocimiento y la acción del profesor y, permite que las investigaciones se ubiquen dentro del modelo o se reconceptualicen según las relaciones y definiciones presentadas.



**Figura 1.** Modelo de conocimiento y habilidad profesional docente (TPK&S) aprobado en la Cumbre del PCK. Tomado de Gess – Newsome (2015, p.31).

Atendiendo a la propuesta original de Shulman acerca del conocimiento profesional del profesor, el modelo del TPK&S (Figura 1), plantea que el conocimiento profesional docente y habilidad se

origina en los conocimientos base del conocimiento profesional docente (TPKB, por las siglas en inglés de teacher professional knowledge bases). Los conocimientos base identificados en el modelo incluyen el conocimiento de la evaluación, pedagógico, disciplinar, de los estudiantes y curricular. Estos conocimientos base son generales, es decir, no son tópicos específicos, y normativos, por lo que pueden ser usados en evaluaciones orientadas a determinar lo que los profesores saben, sin tener en cuenta la disciplina que enseñan.

De acuerdo con el modelo (Figura 1), los conocimientos base informan y son informados por el conocimiento profesional tópico-específico (TSPK por las siglas en inglés de topic-specific professional knowledge). Ésta categoría incluye el conocimiento para determinar estrategias de enseñanza efectivas; seleccionar múltiples representaciones; organizar los contenidos, usar ejemplos específicos para resaltar y construir ideas generales; comprender el conocimiento previo del estudiante o sus conceptos erróneos; y saber cómo integrar las prácticas científicas y de ingeniería, los conceptos transversales y la naturaleza de la ciencia dentro de un tema. De acuerdo con Gess-Newsome (2015), la anterior definición es semejante a la que generalmente ha sido asociada al PCK, pero el modelo plantea una diferencia fundamental, el PCK es personal, mientras que el conocimiento profesional tópico específico (TSPK) es canónico.

Así, según la autora, el TSPK es identificado y reconocido claramente por los expertos y está disponible para que los profesores lo estudien y lo usen; es un acuerdo público sostenido por la comunidad, es relativamente estático y visible, y puede registrarse fácilmente en textos, diagramas o tablas (Gess- Newsome, 2015).

Es decir, el TSPK es canónico, surge de la investigación y puede tener una función normativa en términos de lo que se pretende que los maestros sepan sobre la instrucción específica de un tema y su contexto, puede identificarse y describirse para construir pruebas o rúbricas orientadas a determinar lo que saben los maestros y puede actuar como la base para crear una progresión del conocimiento de los profesores, así como un marco para el diseño de programas de desarrollo profesional docente. Por el contrario, el PCK es un conocimiento personal de cada profesor, es relativamente más dinámico y es más difícil de describir con precisión. Así, y de acuerdo con la autora, el PCK emerge en el contexto del aula de clase, en el acto de enseñar.

A partir de los anteriores planteamientos, y como resultado de la Cumbre hubo un consenso acerca de dos definiciones, el PCK personal y una construcción relacionada, denominada PCK y habilidad (PCK&S por las siglas en inglés de pedagogical content knowledge and skill), las cuales presentamos a continuación:

- El PCK personal es el conocimiento y el razonamiento detrás de la planificación para enseñar un tema particular de una manera particular para un propósito particular a estudiantes particulares para obtener mejores resultados para los estudiantes y corresponde a una *reflexión sobre la acción* y es explícito.
- El PCK&S corresponde al conocimiento que se usa durante el acto de enseñar un tema particular de una manera particular para un propósito particular a estudiantes particulares para obtener mejores resultados para los estudiantes, corresponde a una *reflexión en acción* y puede ser tácito o explícito.

Cabe señalar que además del reconocimiento del papel preponderante de la reflexión del profesor en la construcción de su PCK, la cumbre concede una especial relevancia al papel que el contexto del aula juega en la práctica docente. De acuerdo con Gess-Newsome (2015), en la cumbre se acordó que más allá de lo que los maestros saben y creen, la enseñanza está determinada por el contexto específico del aula, así, por ejemplo, los tipos de materiales curriculares, recursos y apoyos disponibles afectarán el tipo de estrategias que un maestro puede emplear, acuerdo que nosotros acogemos, y que nos lleva a considerar el conocimiento sobre el contexto como componente esencial del conocimiento didáctico del contenido, tal y como veremos más adelante.

De otra parte, pero no menos importante, cabe mencionar que el modelo del TPK&S, reconoce que las creencias y orientaciones de los profesores actúan como amplificadores o filtros que median sus acciones. Como agente libre, un profesor tiene la oportunidad de aceptar, rechazar o modificar nuevos conocimientos, habilidades y prácticas, en este orden de ideas, de acuerdo a sus creencias, sus puntos de vista sobre los objetivos sociales de la escolarización, su orientación hacia estrategias educativas preferidas, o la organización preferida de los contenidos de su disciplina, los maestros pueden abordar el aprendizaje de nuevos conocimientos y su aplicación al aula de manera diferente. De esta manera, en el modelo se eliminan las orientaciones hacia la enseñanza de la ciencia (fuertemente criticadas por Friedrichsen et al., 2011) como componente del PCK y se ubican las orientaciones y creencias de los profesores como amplificadores o filtros de la práctica en el aula, lo cual según Gess-Newsome es una contribución del modelo de TPK&S.

Todas las miradas sobre la manera de entender el Conocimiento Profesional del Profesor que acabamos de presentar conllevan aportes valiosos a esta investigación doctoral. No cabe duda que a partir de la mirada anglosajana propuesta hace más de 30 años por Shulman (1986, 1987) se da inicio al estudio del conocimiento del profesor como un conocimiento profesional, conformado a su vez por varios tipos de conocimientos, entre ellos el Conocimiento Didáctico del Contenido y el Conocimiento Disciplinar, propuesta que nosotros acogemos, al compartir la

importancia de un conocimiento del contenido conformado tanto por definiciones, leyes y principios, como por aspectos históricos, epistemológicos y sociales, y de un conocimiento para la enseñanza de ese contenido, que se constituye en un conocimiento profesionalizado particular e idiosincrático, implicado en los procesos de enseñanza y aprendizaje de contenidos particulares.

Acogemos también aportes de propuestas alternativas como las del grupo IRES y de Maurice Tardif. En este orden de ideas, consideramos dentro del conocimiento profesional del profesor los conocimientos derivados de sus experiencias de vida, tanto personales como profesionales y académicas.

Incluimos también la discusión y consenso desarrollada en la cumbre del PCK, en la que se abordan las críticas a la perspectiva anglosajona de Shulman del Conocimiento Profesional del Profesor, y se posiciona al profesor de ciencias como sujeto reflexivo y productor de su propio conocimiento profesional y, al PCK como un conocimiento personal e idiosincrático, influenciado por las creencias y el contexto particular de las aulas donde ocurren los procesos de enseñanza.

Nuestro posicionamiento acerca del CPP se configura entonces a partir de los aportes ya mencionados, entendiendo al profesor como sujeto de investigación y productor de conocimiento capaz de reflexionar sobre su práctica y, cuyas experiencias de vida y creencias sobre la disciplina que enseñan influyen en su conocimiento profesional.

De esta manera, y como ya hemos puesto de manifiesto, enfocamos nuestra atención en dos de los componentes del CPP: El conocimiento Didáctico del Contenido, y el Conocimiento Disciplinar, que en esta tesis asumimos como Conocimiento sobre la Disciplina.

Consecuentemente con esta postura desarrollamos un proceder metodológico, que, como ampliaremos más adelante, nos permitió, desde una perspectiva interpretativa, vincular a los profesores del estudio de caso a través de sus reflexiones y declaraciones, permitiéndonos aportar al enriquecimiento de sus conocimientos y al mismo tiempo validar nuestras interpretaciones.

De acuerdo con lo anterior y atendiendo a nuestro problema de investigación, en lo que sigue profundizaremos en ambos tipos de conocimiento, el Conocimiento Didáctico del Contenido y el Conocimiento Disciplinar.



### **2.1.2 El Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)**

Muchos investigadores han utilizado las ideas de Shulman acerca del PCK como marco teórico para investigar el conocimiento de los profesores (Aydin y Boz, 2013; Gess-Newsome, 2017).

En este sentido, cabe señalar que aunque inicialmente en la propuesta de Shulman (1986) aparece una definición del PCK, los agentes educativos, investigadores, educadores de profesores, profesores y otros, han realizado distintas interpretaciones de su naturaleza (Kind, 2009), generando una variedad de definiciones e incluyendo a su vez componentes adicionales a los originalmente presentados (Park y Oliver, 2008), lo que ha dificultado la tarea de definir el PCK de forma consensuada (Abell, 2007).

En el contexto iberoamericano, el término PCK ha sido traducido como Conocimiento Pedagógico del Contenido, pero también como Conocimiento Didáctico del Contenido, lo que ha llevado a plantear cuestionamientos respecto a las posibles diferencias entre estos dos constructos, dificultando el establecimiento de los marcos de referencia de las investigaciones iberoamericanas.

Con relación a lo anterior, es importante mencionar que desde 1992, y por sugerencia de Carlos Marcelo, en el ámbito iberoamericano se empieza a utilizar el término Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) como traducción del término Pedagogical Content Knowledge (PCK), a pesar que la traducción literal al español sea Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC). El autor defiende el uso del término CDC porque según él, refleja mejor en nuestro idioma el significado del PCK (Escudero, 2003). Poco a poco, el uso del CDC se ha ido asentando en la literatura especializada en español, tanto así que varios autores han decidido referirse indistintamente al PCK como Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) o Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) (Garritz, Daza y Lorenzo, 2014). Sin embargo, nosotros nos hemos preguntado acerca de la validez de dicha traducción para así poder establecer una posición al respecto y evitar las ambigüedades que se puedan generar en el transcurso de la investigación, análisis que presentamos a continuación.

#### **2.1.2.1 Acerca de la traducción de Pedagogical Content Knowledge (PCK) por Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)**

Luego de revisar en la literatura podemos notar que el principal argumento que Marcelo (1992) presenta para realizar su traducción consiste en hacer una relación entre la didáctica y la fase de transformación de los contenidos disciplinares en conocimiento enseñable, que según él, propone Shulman, por lo que en su documento señala: “Shulman plantea que la investigación

didáctica ha prestado poca atención a cómo se enseña y qué dificultades tiene la enseñanza de cada una de las disciplinas o áreas que componen el currículum escolar [...] lo original del modelo propuesto por Shulman reside en destacar la importancia de la fase de Transformación del contenido incluido en las propuestas curriculares, libros de texto, etc., en conocimiento enseñable, con lo cual el Conocimiento Didáctico del Contenido se configura como una de las contribuciones más importantes para la investigación didáctica” (Marcelo, 1992, p. 10). De esta manera, y siguiendo a Bolívar (2005), podemos decir que una vez Marcelo presenta su traducción, la propuesta de Shulman es vista en España como una buena base para que las didácticas específicas adquieran una identidad epistemológica (p. 16).

Por su parte, Acevedo (2009), comenta además que el interés por el CDC se debe, sobre todo, a que implica un conjunto de saberes que permiten al profesor trasladar a la enseñanza el contenido de un determinado tópico; esto es, hacer la transposición didáctica del conocimiento especializado de un tema a conocimiento escolar objeto de enseñanza y aprendizaje (Chevallard, 1985).

En el contexto colombiano, la traducción también ha sido apoyada, algunos autores (Valbuena, 2007; Mora y Parga, 2008, 2014; Reyes, 2013) han empleado como marco de referencia en sus investigaciones el Conocimiento Didáctico del Contenido. Según algunos de éstos autores, la traducción está justificada en parte, por el hecho que en la literatura especializada de habla inglesa la didáctica tiene una connotación técnica, mientras que en el contexto europeo la didáctica hace referencia al conocimiento que tiene que ver con la enseñanza y el aprendizaje (Valbuena, 2007, p. 61) y, por otra parte, por el hecho que el PCK hace referencia específica a la enseñabilidad de los contenidos (Mora y Parga, 2014).

Teniendo en cuenta que efectivamente han sido las perspectivas alemana y francófona de la pedagogía y la didáctica las que más han influenciado los enfoques educativos en Latinoamérica (Malet, 2004), consideramos conveniente revisar brevemente la concepción de la didáctica desde éstas perspectivas para así mismo señalar, desde una postura personal, la pertinencia de la traducción.

En este orden de ideas, cabe mencionar que en Alemania la didáctica se considera como una subdisciplina de la pedagogía; esto es como una ciencia aplicada de la pedagogía encargada de la instrucción de la enseñanza (Díaz Barriga, 1998, p. 7). Debemos decir así, y siguiendo a Runge (2013) que hoy en día en Alemania, la didáctica tiene que ver con las formas de razonamiento y toma de decisiones adecuadas sobre los modos de enseñar por parte de un docente profesional y autónomo que es capaz de llevar a cabo sus propias propuestas, orientaciones, métodos, etc., de enseñanza. “La didáctica más que poner a los docentes de cara a un asunto organizacional,

los pone ante un asunto sobre el cual reflexionar (a quién, qué, cómo, con quiénes, con qué, dónde, cuándo y para qué enseñar). La centralidad de la didáctica en el quehacer docente hace que los docentes deban asumir un rol de enseñantes reflexivos y teóricos de la enseñanza de manera que puedan llevar a cabo su quehacer” (Runge, 2013, p. 225).

Bolívar (2005), nos recuerda además que a España llega como herencia del ámbito Alemán la distinción entre *didáctica general* (“Allgemeine Didaktik”), el estudio del proceso de enseñanza en general en el marco de la institución escolar y la *didáctica especial* (“Spezialdidaktiken”) diferenciada según los tipos de escuela, la edad o características particulares de un grupo de alumnos o los campos específicos de contenido (materias disciplinares); según el autor, las *didácticas específicas* (“Fachdidaktik” o didácticas de los contenidos disciplinares) forman parte, relevante y diferenciada, de la didáctica especial, esta distinción surgiría a mitad del siglo XIX por influencia de Herbart, según el cual la “didáctica general desarrolla los cánones para la enseñanza basados en la psicología”, mientras que la didáctica especial “aplica dichas reglas generales a los contenidos específicos de cada una de las materias escolares; por lo que puede recibir el nombre de “metódica” (*Methodik*). Si bien esta distinción se ha mantenido, el autor añade que, a partir de 1990, los intereses han cambiado de la didáctica general a la didáctica de los contenidos (Bolívar, 2005, p. 10).

En cuanto al marco francés, Zambrano (2006) nos recuerda que en este ámbito las preocupaciones por lo educativo – el hecho y el acto educativo – se conciben desde el paradigma de las ciencias de la educación, las cuales, de acuerdo con Runge (2013), “han sido organizadas sobre la base de una concepción que va más allá de las disciplinas, que es, por tanto, plurirreferencial y que viene marcada por la influencia de la psicología experimental y la sociología de corte durkheimniano con la que se ha dado una diferenciación entre ciencias de la educación, pedagogía y, ahora, didáctica” (p. 226).

En relación a la didáctica, Zambrano (2006) nos cuenta además que en Francia ésta surge en un contexto de profundas transformaciones sociales, culturales, políticas y económicas que van desde 1970 a 1990. Dado que, desde una perspectiva de desarrollo económico y político, la escuela, que era un asunto de la Iglesia pasa a ocupar un lugar estratégico en las prácticas del Estado, se desencadenarían nuevos análisis sobre la escuela, y se le pediría a la didáctica reflexionar sobre los saberes sociales, científicos, escolares y tecnológicos, de cara a los desafíos impuestos por la economía. En este orden de ideas, la didáctica surgiría de la necesidad de aclarar los modos y las condiciones del aprendizaje y las formas como los sujetos se relacionan con lo que aprenden, para evitar el fracaso escolar, generando teorías de referencia. Puede decirse entonces que en el contexto francés la didáctica no se piensa como la técnica de enseñanza, “ella supera esta mirada y se ubica en una región de saber digna de una disciplina científica. Esta

característica hace que se desligue de la pedagogía y encuentre un camino hacia la autonomía” (p. 180).

Así, desde el contexto francés podemos decir que los didactas se interesan por la investigación de los saberes escolares, produciendo un conjunto de explicaciones, comprensiones e interpretaciones del hecho educativo que da cuenta, debate y reflexiona los saberes y sus modos de transferencia, apropiación y circulación, a diferencia de los pedagogos, para quienes el discurso sobre la educación, los sistemas de comprensión y las prácticas de valor que circulan en la educación son su razón de ser (Zambrano, 2006).

Es importante señalar además que uno de los principales planteamientos de la didáctica francesa consiste en considerar las relaciones entre los tres sujetos que intervienen en el acto educativo: el saber, el profesor y el alumno, en una figura ampliamente divulgada en España y Latinoamérica denominada *triángulo didáctico*. De acuerdo con Zambrano (2006), del lado de la relación profesor-saber se encuentra el sector de la elaboración de los contenidos disciplinares, para el que la transposición didáctica se convierte en el concepto clave; en el mismo sentido, Runge (2013) señala que es precisamente en este último lado donde se ubican las didácticas de las ciencias (también llamadas por él como didácticas de las disciplinas, reconociéndolas como el marco desde el cual se puede hablar de la didáctica de las matemáticas, del francés, del inglés, de la química, de las ciencias, etc.), donde se trabaja con los saberes disciplinares o específicos con miras a su transformación y transposición didáctica (p. 228).

Podemos observar así, que desde la interpretación que en este documento hacemos de la propuesta de Shulman (1986, 1987) acerca del PCK, son varios los puntos de encuentro entre dicha propuesta y la visión europea de la Didáctica de las Ciencias. En primera instancia cabe señalar que Shulman centra su interés en el conocimiento que los profesores deben tener para enseñar contenidos particulares, llamando la atención sobre su conocimiento del contenido y de las estrategias más adecuadas para la enseñanza de dichos contenidos, con las cuales poder transformar el conocimiento disciplinar (*subject matter knowledge*) en un conocimiento que los estudiantes puedan comprender, reconociendo además la importancia de que el profesor identifique los obstáculos y las situaciones que posibilitan el aprendizaje, entre ellas las concepciones e ideas previas de los estudiantes.

En segundo lugar, y siguiendo con esta interpretación personal, en su propuesta sobre el PCK, Shulman también piensa a los estudiantes como individuos diferentes, en la medida que señala la importancia de reconocer que estudiantes de distintas edades y orígenes pueden tener distintas ideas previas sobre el mismo contenido, las cuales, como ya se dijo, deben ser establecidas por el profesor como parte del uso de su PCK; en este mismo sentido, Shulman

reconoce que distintos estudiantes pueden presentar diversos intereses y habilidades. En tercer lugar, Shulman introduce la importancia de la organización, representación y adaptación de los tópicos particulares, como ejercicios previos a la presentación de los contenidos a los estudiantes para su instrucción.

Luego de la revisión presentada, señalamos que la traducción del PCK al español puede ser considerada como Conocimiento Didáctico del Contenido, y no como Conocimiento Pedagógico del Contenido, dado que los discursos europeos de la Didáctica de las Ciencias y la propuesta de Shulman presentan varias coincidencias, en la medida en la que ambas se interesan por la enseñanza de contenidos particulares, poniendo de relieve la importancia de la reflexión sobre la fundamentación epistemológica e histórica de dichos conocimientos, las estrategias de transformación de los contenidos disciplinares en las instituciones escolares para su enseñanza, así como en las condiciones favorables o desfavorables para el aprendizaje, reconociendo la individualidad del estudiantado y sus características particulares, y más importante aún, en la medida en que la propuesta de Shulman no se basa en la reflexión acerca de la educación en cuanto a sus prácticas de valor y principios sociales y políticos, reflexión que como ya se dijo, desde el contexto francés, correspondería a los pedagogos.

Finalmente, y a partir del desarrollo anterior, señalamos, que en esta tesis doctoral entenderemos el Conocimiento Didáctico del Contenido como un conocimiento que identifica a los profesores, en cuanto constituye un conocimiento profesionalizado implicado en los procesos de enseñanza de contenidos particulares. Adicionalmente, consideramos que el CDC está conformado por una serie de conocimientos (ver numeral 2.1.2.5) que en su conjunto conllevan a que el profesor comprenda lo que los estudiantes han de aprender acerca de un contenido y la forma de enseñarlo.

### **2.1.2.2 Algunos modelos que representan la estructura del PCK/CDC**

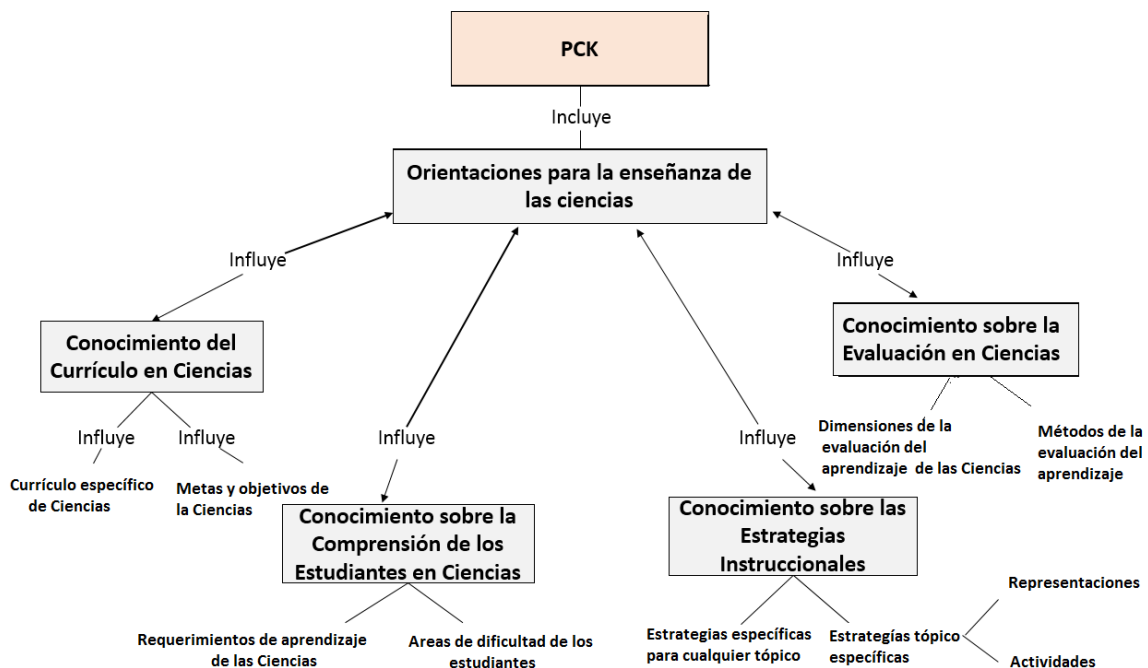
De acuerdo con Kind (2009) los investigadores han interpretado la propuesta del PCK presentada por Shulman de diferentes maneras por lo que han surgido diferentes modelos respecto a la estructura del PCK.

De todos los modelos planteados, nosotros hemos decidido basarnos en los modelos de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) y de Park y Oliver (2008), quienes identifican el conocimiento disciplinar como una categoría distinta al PCK, y además consideran que las creencias de los profesores juegan un papel fundamental en los procesos de enseñanza y aprendizaje, por lo que en lo que sigue, ahondaremos en dichos modelos.

### 2.1.2.2.1 El modelo de Magnusson, Krajcik y Borko

En 1999 Magnusson, Krajcik y Borko, plantearon una propuesta acerca de la estructura del PCK en la que presentan un modelo conformado por cinco componentes (Figura 2). Los autores reconocen el PCK como un tipo de conocimiento único de los profesores que, de acuerdo al trabajo de Grossman (1990), es influenciado por su conocimiento disciplinar, su conocimiento pedagógico y su conocimiento sobre el contexto, junto con sus creencias al respecto.

Los siguientes son los cinco componentes que para Magnusson, Krajcik y Borko (1999) conforman el PCK:



**Figura 2.** Componentes del PCK según Magnusson, Krajcik y Borko. Tomado de: Gess-Newsome y Lederman (1999, p. 99).

a) **Orientaciones para la enseñanza de las Ciencias:** Conocimientos y creencias de los docentes acerca de los propósitos y objetivos de la enseñanza de la ciencia en un determinado grado o nivel. Para los autores una orientación representa una forma general de ver o conceptualizar la enseñanza de las ciencias, así, las orientaciones identificadas por los autores son: el proceso, el rigor académico, el cambio conceptual didáctico, la enseñanza de la ciencia basada en proyectos por descubrimiento, la investigación y la indagación guiada. Cada una de estas orientaciones viene fundamentada en un conjunto de creencias acerca de cómo debe ser el aprendizaje de la ciencia y se acoplan con ciertas estrategias de enseñanza. La

importancia de este componente radica en que tales conocimientos y creencias sirven como un “mapa conceptual” que guía las decisiones sobre cuestiones como objetivos diarios, el contenido de las tareas de los estudiantes, el uso de libros de texto y otros materiales curriculares y la evaluación del aprendizaje de los estudiantes.

- b) **Conocimiento del Currículo de Ciencias:** Este componente consta de dos categorías, el conocimiento de los objetivos obligatorios de la asignatura de enseñanza y el conocimiento de los programas curriculares para tópicos específicos. Los autores plantean que éste conocimiento debe formar parte del PCK ya que representa el conocimiento que distingue al especialista en el contenido del pedagogo - un sello distintivo del conocimiento didáctico del contenido -.
- c) **Conocimiento de la comprensión de la ciencia de los estudiantes:** Este componente se refiere al conocimiento y las creencias de los profesores sobre como poder ayudar a los estudiantes a desarrollar un conocimiento científico específico. También incluye dos categorías: el conocimiento y las creencias acerca de los requisitos para el aprendizaje de conceptos científicos específicos, entre ellos las ideas previas y las capacidades y habilidades que los estudiantes deben desarrollar y, el conocimiento de conceptos o temas de ciencia que los estudiantes encuentran difíciles de aprender.
- d) **Conocimiento de la Evaluación en Ciencias:** En este componente encontramos dos categorías: el conocimiento de las dimensiones del aprendizaje de las ciencias que se deben considerar en la evaluación y, el conocimiento de los métodos por los cuales el aprendizaje puede ser evaluado.
- e) **Conocimiento de Estrategias para la enseñanza:** Las categorías de éste componente son, el conocimiento de las estrategias para la enseñanza de una asignatura específica, y el conocimiento de las estrategias para la enseñanza de tópicos específicos. Las estrategias en estas categorías difieren con respecto a su alcance, así, las estrategias para una asignatura específica son ampliamente aplicables, mientras que las estrategias sobre tópicos específicos se aplican a la enseñanza de temas específicos dentro de un dominio de la ciencia. Según los autores el uso de las estrategias por parte de los docentes está influenciada por sus creencias sobre los propósitos y objetivos de la enseñanza de la ciencia, es decir por su “orientación para la enseñanza de la ciencia”.

Como se puede apreciar en la figura 2, en el modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) las relaciones entre los componentes del PCK se presentan de una manera lineal en relación con las orientaciones para la enseñanza de las ciencias, es decir los últimos cuatro componentes están relacionados con el primero y no se muestra ninguna otra relación entre componentes. Esta situación ha provocado que diferentes investigadores, entre ellos Park y Oliver (2008) se hayan preocupado por indagar cómo interactúan los componentes del PCK.

#### 2.1.2.2.2 El modelo de Park y Oliver

Otro modelo relevante en el campo del Conocimiento Didáctico del Contenido es el de Park y Oliver (2008), quienes proponen repensar la naturaleza de la estructura del PCK, buscando comprender la interacción entre los componentes del PCK. Su modelo surge de una investigación descriptiva desarrollada a través de un estudio de caso múltiple en un marco social constructivista.

Durante el planteamiento de su investigación los autores toman como referente conceptual los cinco componentes del PCK del modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999); afirmando que un PCK para la enseñanza eficaz requiere la integración de todos sus componentes de una manera compleja y que, en este sentido, el nivel de PCK de un maestro depende del grado de integración entre sus componentes y de la coherencia de tales relaciones.

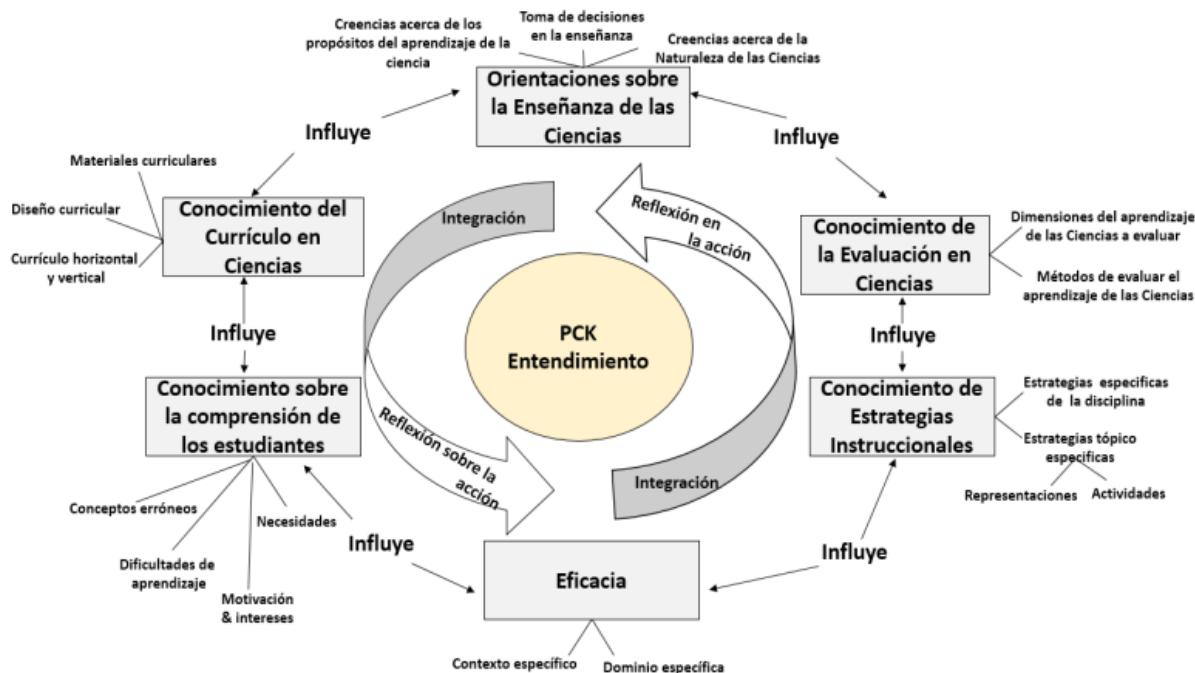
En su modelo de partida, proponen que los componentes del PCK identificados por Magnusson, Krajcik y Borko (1999) interactúan no solamente a través de las orientaciones para la enseñanza de las ciencias sino también entre ellos, por lo que plantean organizar tales componentes en una forma pentagonal que permita enfatizar la interrelación entre ellos.

Sin embargo, como resultado de su estudio de caso presentan un nuevo componente del PCK, **la eficacia docente**; que se refiere a las creencias de los profesores en cuanto a su capacidad para afectar los resultados del estudiante. En este sentido, los autores, citando a Kagan (1992) señalan que las creencias corresponden a una forma de conocimiento, y que la mayor parte del conocimiento profesional del profesor puede ser considerado con mayor precisión como creencias; citando a Nespor (1987) destacan además el papel de las creencias de los docentes en la definición de las tareas de enseñanza y en la organización del conocimiento relevante para esas tareas, señalando que cuando los profesores creen en su capacidad para ejecutar su PCK de manera efectiva, es más probable que desarrollen ese PCK en las aulas reales. En este sentido, los autores también indican que con el fin de resolver los problemas que suelen encontrar, los profesores tienen que ir más allá de la información contenida en el proceso de enseñanza y volver a examinar sus conocimientos desde múltiples perspectivas para hacer suposiciones o tomar decisiones, proceso en el cual sus creencias juegan un papel muy importante.

Los resultados de su investigación también indican que el PCK se desarrolla a través de la *reflexión en acción* y la *reflexión sobre la acción* dentro de contextos de enseñanza particulares, que el PCK es idiosincrático y que en un PCK fuerte todos los componentes se encuentran conectados unos a otros, lo que conlleva al aprendizaje de los estudiantes.



Park y Oliver (2008) presentan como resultado de su investigación un modelo en el que organizan los componentes del PCK en una forma hexagonal (Figura 3) con el PCK en el centro, con lo cual buscan indicar su potencial desarrollo a partir de cualquiera de sus componentes.



**Figura 3.** Modelo hexagonal del PCK propuesto por Park y Oliver. Tomado de Park y Oliver (2008, p. 279).

De acuerdo con este modelo, los seis componentes se influyen entre sí de una manera continua y contextualmente enlazada de forma tal que para que la enseñanza efectiva se produzca, los profesores integran los componentes y promulgan la enseñanza dentro de un contexto dado. La integración de los componentes se realiza mediante el reajuste complementario y permanente que se da tanto por la *reflexión en la acción* como por la *reflexión sobre la acción*. Esto implica que a medida que un profesor desarrolla su PCK a través de la reflexión, la coherencia entre los componentes se fortalece. Este fortalecimiento refuerza su integración, lo que a su vez facilita el desarrollo del PCK y otros cambios en la práctica.

### 2.1.2.3 CDC declarativo y CDC en acción

Como acabamos de mencionar, en el año 2012 se re-examinó el PCK durante la denominada Cumbre del PCK (ver numeral 2.1.1.4), fruto de esta discusión se plantearon y definieron dos tipos de PCK, que tienen relación con los planteamientos de Park y Oliver (2008), uno que corresponde a la *reflexión sobre la acción* y otro que corresponde a la *reflexión en acción*.

Así, y de acuerdo con los investigadores de la cumbre, el PCK que corresponde a la *reflexión sobre la acción* es un conocimiento que favorece el razonamiento sobre la planificación de la enseñanza (Gess-Newsome, 2015, p. 36). Este PCK puede ser obtenido de los planes de aula que diseña un profesor y en las razones detrás de sus decisiones de enseñanza, tiene un propósito, es explícito y de alguna manera es fácil de capturar, pues es el conocimiento que los maestros aportan para diseñar y reflexionar sobre la enseñanza. En este orden de ideas se puede acudir a protocolos de preguntas cuidadosas y a la reflexión en voz alta, buscando comprender lo que el maestro planeó (el qué), así como la razón de sus decisiones de instrucción (el por qué).

De otra parte, el PCK que corresponde a la *reflexión en acción*, tiene que ver con el conocimiento que el profesor pone en juego cuando está en clase intentando llevar a cabo sus planes de enseñanza, pero también monitoreando la participación de los estudiantes y al mismo tiempo ajustando su planeación. La toma de las decisiones del profesor en el aula requiere una reflexión en acción y es mucho más difícil de capturar por los investigadores, pues el conocimiento utilizado es mucho más dinámico, a veces explícito, pero a menudo fugaz y tácito, y solo puede obtenerse a través de la observación y grabación de las clases. De acuerdo con Gess-Newsome (2015), los investigadores pueden inferir el PCK en acción basándose en el análisis de lo que ven en la práctica en el aula, aunque tal intento es más débil que el conocimiento directo obtenido del maestro, por lo que su recomendación es desarrollar entrevistas de reflexión en voz alta mientras los profesores revisan los videos de sus clases e intentan recordar lo que estaban pensando y lo que influyó en lo que hicieron y por qué.

Para el caso de nuestra investigación hemos denominado **CDC declarativo** al PCK que de acuerdo con Gess-Newsome (2015) corresponde a la *reflexión sobre la acción*, entendiendo que el profesor es consciente de este conocimiento, que éste hace parte del conocimiento que moviliza su práctica en el aula, y que puede ser obtenido a través de sus declaraciones al instrumento ReCo (instrumento Representación del Contenido), tal y como detallaremos en el capítulo sobre metodología; también hemos denominado **CDC en acción** al PCK que corresponde a la *reflexión en acción*, entendiendo que este conocimiento direcciona la práctica del profesor en el aula, por lo que puede ser obtenido a través del análisis de la observación de las clases y de reflexiones en conjunto.

#### **2.1.2.4 Interacción entre los componentes del PCK/CDC**

A pesar que en la literatura no existe un consenso acerca de los componentes que comprenden el PCK (Kind, 2009; Park y Chen, 2012), los resultados de varias de las investigaciones coinciden en que para que los profesores planifiquen y lleven a cabo procesos de enseñanza efectivos se requiere la integración de los componentes del PCK de una forma coherente (Friedrichsen, Van

Driel y Abell, 2011); tales investigaciones indican que estos componentes interactúan de formas muy complejas (Park y Oliver, 2008) y que una integración coherente entre ellos es fundamental para el desarrollo del PCK y mejoras en la práctica docente (Friedrichsen et al., 2009; Park y Oliver, 2008; Park y Chen, 2012 ).

A este respecto Abell (2008) argumenta que para comprender la calidad del PCK, los investigadores además de examinar los componentes individuales deben intentar comprender la interacción entre los componentes del PCK; por su parte, Friedrichsen et al. (2011) insisten en prestar atención a la relación entre todos los componentes del PCK en vez de investigar la influencia de uno o dos sobre otro componente, mientras que Park y Chen (2012) señalan que para comprender la naturaleza de la relación entre la práctica docente y el PCK es necesario investigar cómo interactúan todos los componentes del PCK entre sí y cómo se integran durante los actos de enseñanza desde una perspectiva más holística.

En este orden de ideas, a continuación, describiremos brevemente las principales tendencias en cuanto a la investigación en torno a la interacción e integración de los componentes del PCK/CDC de profesores de Ciencias Naturales y algunas implicaciones de los resultados encontrados.

#### **2.1.2.4.1 Investigación sobre las relaciones entre los componentes del PCK/CDC**

La revisión bibliográfica nos permite señalar que los estudios para comprender la integración de los componentes del PCK se han llevado a cabo principalmente mediante tres enfoques. El primero explora cómo un solo componente afecta a otro componente, el segundo enfoque examina cómo se relaciona un componente particular con toda la construcción del PCK y el tercero cómo se relacionan todos los componentes del PCK entre sí, buscando representar dichas relaciones a través de modelos o figuras.

En el primer caso podemos citar varias investigaciones, entre ellas la de Cohen y Yarden (2009), quienes, a través de un estudio longitudinal, en el que emplearon discusiones de grupo focal, entrevistas semiestructuradas y cuestionarios, señalaron que la falta de conocimiento curricular sobre el tema de célula limitó el uso de estrategias de enseñanza por parte de los docentes; así como los trabajos de Brown, Friedrichsen y Abell (2009), quienes, a través de la información de las planeaciones de clase, observaciones de clase y entrevistas, investigaron la relación entre las orientaciones para la enseñanza de la ciencia y los propósitos de enseñanza de profesores de ciencias naturales, construyendo perfiles de los profesores estudiados como resultado de las experiencias previas, concluyendo que los docentes investigados tenían unas orientaciones para la enseñanza de la ciencia muy arraigadas y fuertemente influenciadas por sus maestros mentores, las cuales impactaban en gran medida sus prácticas docentes.

Respecto al segundo enfoque tenemos la investigación realizada por Van Driel, Verloop y De Vos (1998), quienes, a través de un estudio longitudinal, conformado por tres ciclos de diseño, implementación, evaluación y reflexión de un curso para la enseñanza del equilibrio químico, concluyeron que el conocimiento de profesores de Química sobre los estudiantes en cuanto a sus preconcepciones, dificultades de aprendizaje y tipos de razonamiento facilitó el desarrollo de su PCK. En una línea similar, Kamen (1996), a través del uso de entrevistas en profundidad a una profesora de ciencias de primaria, concluyó que su conocimiento sobre la evaluación influyó significativamente en su PCK y en el desarrollo de su práctica docente.

Estos estudios abrieron una fructífera vía de exploración hacia una comprensión profunda de cómo un componente se relaciona con otro componente, con todo el PCK y con la práctica de enseñanza, por lo que la atención se ha venido centrando en la investigación de las relaciones entre los componentes individuales del PCK para entender al mismo tiempo la manera en que el PCK se organiza y desarrolla.

En este sentido Hashweh (2005) argumenta que *“comprender el PCK no es el resultado de un conocimiento profundo en una sola categoría de conocimiento”* (p. 279), por lo que, de acuerdo con Magnusson, Krajcik y Borko (1999), señala que es necesario comprender cómo interactúan sus componentes y cómo su interacción influye en la práctica de enseñanza. Al respecto, Park y Chen (2012), también señalan que la comprensión de la interacción de los componentes del PCK, desde un punto de vista holístico, proporciona información sobre la naturaleza del desarrollo del PCK y también contribuye al diseño de programas de formación docente encaminados a apoyar su desarrollo para promover el aprendizaje de los estudiantes.

En general, los resultados de los estudios del tercer enfoque convergen en señalar que la interacción entre los componentes del PCK no es un proceso lineal relacionado con la simple posesión de esos componentes, y en que no siempre ocurre que un mayor conocimiento sobre uno de los componentes mejora la integridad y el funcionamiento de todo el PCK, por lo que la falta de coherencia entre los componentes puede ser problemática en su desarrollo.

Teniendo en cuenta que, dentro de los objetivos de nuestra tesis doctoral, buscamos investigar y representar las relaciones entre los componentes del CDC de los profesores estudiados, a continuación, presentamos algunas de las investigaciones al respecto, mostrando de manera muy sucinta los métodos que han empleado en la representación y modelización de las relaciones entre los componentes del PCK/CDC.

Dentro las investigaciones que pertenecen al tercer enfoque podemos citar a Park y Oliver (2008), quienes, como ya mencionamos, a través de un estudio descriptivo y basados en el modelo de

Magnusson, Krajcik y Borko (1999) plantearon una propuesta de análisis de la integración de los componentes del PCK. La estrategia de investigación consistió en un estudio de caso múltiple de tres profesoras de Química. Los datos fueron obtenidos a través de la observación no participante de tres clases de cada profesora, entrevistas semiestructuradas, planes de aula, reflexiones escritas de las profesoras, trabajos de los estudiantes y notas de campo de las investigadoras. Los datos fueron analizados a través de tres enfoques: (a) método comparativo constante, (b) enfoque enumerativo y (c) un análisis en profundidad de segmentos de clase.

En el método comparativo constante, el análisis de datos se centró en la identificación de regularidades o patrones en las transcripciones de entrevistas y observaciones a través de un proceso interactivo durante el cual los datos se compararon constantemente. El enfoque de análisis enumerativo fue empleado para reducir la subjetividad de la codificación cualitativa y facilitar la identificación de las características del PCK de cada maestro, así, primero crearon la “Tabla de reportes de evidencia del PCK (PCK ERT)” en la cual los cinco componentes del modelo pentágono se presentaron como categorías. Para cada componente, desarrollaron subcategorías a través de una revisión exhaustiva de la literatura. Utilizando esas categorías y subcategorías como un conjunto preestablecido de códigos, codificaron las transcripciones de observación utilizando el software Atlas.ti. Al mismo tiempo, contaron las ocurrencias de cada subcomponente en la tabla PCK ERT.

Para estudiar con mayor profundidad el PCK de las profesoras estudiadas, analizaron en profundidad segmentos de enseñanza que revelaron el PCK explícitamente. Para cada fragmento hicieron una descripción detallada en tres aspectos: (1) lo que hizo la profesora, (2) por qué hizo lo que hizo y (3) lo que la profesora conocía. Cabe resaltar que, como resultado de su investigación, los autores discuten sus hallazgos sin dar cuenta de un modelo que represente el PCK de cada una de las profesoras estudiadas, no obstante, presentan un modelo general de PCK, conocido como el modelo del Hexágono (Park y Oliver, 2008, p. 279), en el que, como ya hemos mencionado incluyen un componente denominado eficacia docente.

En 2011, Padilla y Van Driel también se propusieron identificar y analizar las relaciones entre los componentes del PCK; al igual que en el caso anterior, los autores tuvieron en cuenta el modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), pero no incluyeron el conocimiento curricular en su investigación; aunque sí buscaron relacionar el PCK de cada profesor con los materiales curriculares empleados. De esta manera, analizaron las entrevistas de 6 profesores universitarios que enseñaban Química cuántica a través de una metodología cualitativa y cuantitativa apoyada en un programa informático denominado PRINCALS que les permitió visualizar las relaciones entre pares de componentes del PCK, así como las frecuencias de tales relaciones y obtener unas

gráficas con las cuales establecer el perfil de enseñanza de cada profesor (Padilla y Van Driel, 2011, p. 377).

En esa misma línea de investigación Park y Chen (2012) retomaron lo que denominaron el modelo de pentágono de Park y Oliver (2008) (ya que no incluyen el componente de eficacia docente), buscando explorar la naturaleza de la integración de los cinco componentes del PCK de profesores de Biología de secundaria cuando enseñan los contenidos de fotosíntesis y herencia. En un esfuerzo por facilitar la identificación de las interacciones, este estudio tuvo como objetivo adicional desarrollar una propuesta analítica orientada a la visibilización de las relaciones entre los componentes del PCK, así como sus frecuencias y por tanto la representación de la estructura del PCK de cada profesor a través de mapas del PCK.

Durante esta investigación el estudio de caso incluyó 4 profesores de Biología. Los datos fueron obtenidos a través de la observación no participante de clases de cada profesor (de las cuales se escogieron dos de cada tema), entrevistas semiestructuradas, planes de aula, materiales didácticos y trabajos de los estudiantes. Los datos fueron analizados a través de tres enfoques: a) Un análisis en profundidad del PCK explícito, b) enfoque enumerativo y c) método comparativo constante. Para este caso las autoras modificaron el análisis en profundidad realizado por Park y Oliver (2008), de forma que identificaron segmentos de enseñanza de las clases grabadas que evidenciaran el PCK del profesor (a los que llamaron episodios de PCK), esto es, fragmentos en los que observarían la integración de dos o más componentes del PCK. La descripción detallada de cada episodio incluyó: lo que los estudiantes y el profesor hicieron, los componentes del PCK que se integraron, y la evidencia de la presencia de los componentes identificados.

En el estudio, las autoras no tuvieron en cuenta cuántas veces apareció un componente en el episodio, con lo que solamente contabilizaron una vez la aparición de cada componente encontrado en el episodio. Así, a través del enfoque enumerativo indicaron las conexiones entre pares de componentes utilizando el modelo del pentágono de Park y Oliver como modelo de referencia, a tal construcción la denominaron Mapa del PCK. De acuerdo con las autoras, aunque la fuerza de cada conexión pudo ser diferente, asumieron, para efectos analíticos, una fuerza de 1 para todas las conexiones. En los mapas, las autoras también presentaron la frecuencia de la conexión entre pares de componentes, obtenida a partir de la suma de las conexiones encontradas a través del análisis de los episodios de la clase.

De manera similar Aydin y Boz (2013) también buscaron investigar cómo interactúan todos los componentes del PCK unos con otros y cómo se integran dentro del PCK, en la idea de capacitar al profesor para transformar su conocimiento disciplinar en eventos de enseñanza desde una perspectiva más holística. Durante su investigación estudiaron cómo los componentes del PCK

de profesores de Química experimentados interactúan mientras enseñan los temas de celdas redóx y celdas electroquímicas. Los datos fueron recogidos a través de una actividad de clasificación de tarjetas, el instrumento ReCo, la observación de clases, notas de campo, y entrevistas semiestructuradas. El análisis de los datos incluyó tres etapas, análisis en profundidad, enfoque enumerativo y método comparativo constante. En este caso los autores centraron su atención en discriminar las integraciones entre componentes con respecto a su tipo, frecuencia y fuerza; así, construyeron una rúbrica que les permitía codificar las relaciones entre pares de componentes en una escala de 1 a 3 puntos para así presentar en los mapas la fuerza de tales relaciones a través de líneas de diferente estilo. Los resultados de su investigación muestran que el conocimiento de los estudiantes y de las estrategias de enseñanza fueron componentes centrales en las integraciones; y además que en los dos docentes investigados hubo una integración más coherente cuando se enseñó el tema de las celdas electroquímicas.

En el contexto latinoamericano también encontramos investigaciones encaminadas a comprender las relaciones entre los componentes del CDC de profesores del área de Ciencias Naturales y su influencia en la enseñanza de diferentes tópicos.

Tal es el caso de la investigación de Fonseca y Martínez (2013), quienes realizaron un estudio de caso con dos futuros profesores de Biología en el que caracterizaron su CDC del concepto de biodiversidad, teniendo en cuenta los componentes propuestos por Magnusson, Krajcik y Borko (1999). Hicieron la interpretación a través de los planteamientos de un enfoque de orden cualitativo y sociocrítico basados en dos niveles de información, uno declarativo, esto fue, de las respuestas al instrumento denominado ReCo y las planeaciones de las clases, y otro en relación con la práctica profesional, basado en la reflexión en la acción y sobre la acción a través de una entrevista semiestructurada. Los autores representaron el CDC de los profesores estudiados a través de mapas en los que identificaron la fuerza entre las relaciones a través de líneas de diferente estilo, pero no incluyeron en sus mapas información respecto a la frecuencia de las relaciones.

Ravanel y López-Cortés (2016) también acudieron al análisis de las respuestas al cuestionario ReCo para establecer las relaciones entre los componentes del CDC sobre célula de cinco profesionales del área biológica que ejercen como profesores de Biología en la educación secundaria en Chile. El análisis de la información fue realizado desde dos aproximaciones: i) Un análisis de contenido del plano declarativo con uso de codificación axial usando el software Atlas-ti 7.0 y ii) el análisis enumerativo entre los dominios del CDC para explorar la relación entre ellos usando como instrumento el modelo de Park y Oliver (2008). En este caso los autores incorporaron la direccionalidad de las conexiones, al tener en cuenta como componente de origen el componente del CDC indagado en la pregunta del ReCo, y como componente de destino

el componente evidenciado en el análisis de lo declarado –ideas, experiencias, conocimiento, situaciones, ejemplos u otros-. Los autores también incluyeron las frecuencias de las conexiones al contar el número de vínculos entre componentes que surgen de las respuestas. Su análisis les permitió identificar las relaciones establecidas entre los componentes del CDC y contrastar los mapas del CDC y el modelo didáctico de los participantes, identificando creencias similares y distantes entre los participantes.

En esa misma línea de investigación Dueñas et al. (2016) mapearon el CDC declarativo sobre la alimentación y la nutrición humana de una profesora experimentada de secundaria a partir del análisis de sus respuestas al cuestionario ReCo. Los autores establecieron como componentes del CDC: los propósitos de enseñanza (P), los contenidos de enseñanza (C), el conocimiento del contexto (CTX), el conocimiento de los estudiantes (CE), las estrategias de enseñanza (ES), y la evaluación (EV) y acudieron a un enfoque enumerativo de los episodios que les permitió establecer en cada respuesta del ReCo los componentes involucrados y al finalizar el análisis obtener la frecuencia de las relaciones identificadas. Posteriormente en el mapeo utilizaron el modelo hexagonal propuesto por Park & Oliver (2008), realizando las respectivas modificaciones de acuerdo a los componentes del CDC estudiados. La obtención de las frecuencias permitió a los autores destacar tres componentes mayoritarios del CDC: el conocimiento sobre los contenidos de enseñanza, el conocimiento sobre los propósitos de enseñanza y el conocimiento de los estudiantes, y minoritariamente: el conocimiento sobre la evaluación, las estrategias de enseñanza y el contexto. Cabe resaltar que los autores identificaron el conocimiento del contexto como componente del CDC, debido a la cercanía del contenido de la alimentación y la nutrición para los estudiantes y a la influencia de otros elementos contextuales en su enseñanza y su aprendizaje (p. 244).

#### **2.1.2.5 Componentes del CDC en esta investigación**

Durante esta investigación tomamos como punto de partida la propuesta de los componentes del PCK de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), por lo que, en el desarrollo de esta apartado consideraremos inicialmente la conceptualización que los autores hacen acerca de cada uno de estos componentes, complementándola y replanteándola a partir de los resultados de investigaciones y planteamientos más recientes, en particular sobre la enseñanza de las Ciencias Naturales en los ámbitos tanto anglosajón como iberoamericano.

A partir de la revisión que describiremos a continuación, consideramos como componentes del CDC el **conocimiento del profesor sobre los contenidos de enseñanza, sobre los propósitos de enseñanza, sobre las estrategias de enseñanza y sobre los estudiantes**. De manera relevante, cabe señalar que el análisis de los datos de la investigación nos permitió identificar el



**conocimiento sobre el contexto** como componente del CDC para la enseñanza de la Biotecnología, por lo que, en la conceptualización que presentamos a continuación, también mostramos nuestro desarrollo al respecto.

#### **2.1.2.5.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza**

Como ya mencionamos, de acuerdo con Magnusson, Krajcik y Borko (1999) el componente conocimiento del currículo de ciencias está conformado por dos categorías, el conocimiento de los objetivos obligatorios de la asignatura de enseñanza y el conocimiento de los programas curriculares para tópicos específicos. Al respecto, llama la atención que los autores no destacan de manera explícita el papel que desempeña en el PCK lo pertinente al conocimiento acerca de los contenidos que se enseñan, es decir, sobre su selección, secuenciación y transformación (Valbuena, 2007, p. 146). En este componente nos referimos entonces al conocimiento que le permite al profesor seleccionar, organizar y secuenciar los contenidos de la Biotecnología que enseña, a partir de un análisis crítico de los programas curriculares preestablecidos, o de la formulación de propuestas curriculares propias.

Conviene así precisar qué entendemos por contenidos de enseñanza. De acuerdo con Coll (1994), *“los contenidos designan el conjunto de saberes o formas culturales cuya asimilación y apropiación por los alumnos y alumnas se considera esencial para su desarrollo y socialización”*. Según el autor, la idea de fondo es que el desarrollo de los seres humanos no se produce nunca en el vacío, sino que tiene lugar siempre y necesariamente en un contexto social y cultural determinado, de forma que los contenidos curriculares son una selección de formas o saberes culturales: conceptos, explicaciones, razonamientos, habilidades, lenguajes, valores, creencias, sentimientos, actitudes, intereses, pautas de conducta, etc., cuya asimilación es considerada esencial para que se produzca un desarrollo y una socialización adecuados de los estudiantes en el marco de la sociedad a la que pertenecen.

El autor agrupa los contenidos según sean conceptuales, procedimentales o actitudinales (Coll, 1994). Esta clasificación corresponde respectivamente a las preguntas “¿qué hay que saber?”, “¿qué hay que saber hacer?” y “¿cómo hay que ser?”. Antes de efectuar un análisis diferenciado de estas clases de contenidos, es conveniente señalar que la línea divisoria entre unos y otros es muy sutil y, que estos términos se han creado para ayudar a comprender los procesos cognoscitivos y conductuales de los estudiantes, lo que, de acuerdo con Zavala (2000) hace necesaria su diferenciación y parcialización metodológica para poder analizar lo que siempre ocurre de manera integrada.

Los **contenidos conceptuales** constituyen el entramado fundamental sobre el que las disciplinas se estructuran, por lo que, sin lugar a dudas su conocimiento por parte del profesor es imprescindible, para así poder organizar lo que sus estudiantes deben saber. De acuerdo con (Díaz-Barriga y Hernández, 2010), los contenidos conceptuales hacen referencia a un saber que es de tipo declarativo porque es un saber que se dice, se declara o se conforma por medio del lenguaje. Atendiendo a la propuesta de Coll (1994), nosotros categorizamos los contenidos conceptuales en hechos, datos, conceptos y principios. Los hechos y datos corresponden a información presentada de manera transmisiva y que hace referencia concreta a hechos, acontecimientos, situaciones, datos y fenómenos que es importante saber, porque asociada a otro tipo de contenidos, más complejos, permitirán comprender problemas de la vida cotidiana y profesional (Pozo, 1994; Zavala, 2000). Los conceptos hacen referencia al conjunto de objetos, símbolos o hechos que se pueden definir a partir de la identificación de sus características y reglas comunes o de la abstracción de su significado esencial. Los principios hacen referencia a los cambios en los hechos, objetos o situaciones en relación con otros. Son ejemplos de conceptos: mamífero, densidad, ciudad, potencia, célula, fuerza, etc. Son principios las leyes o reglas como la de Arquímedes, la de la conservación de la materia, las normas o reglas de una corriente literaria, las conexiones que se establecen entre diferentes axiomas matemáticos, etc.

Siguiendo a Díaz-Barriga y Hernández (2010), los **contenidos procedimentales** se asocian al saber hacer o saber procedimental, es decir, a aquel conocimiento que se refiere a la ejecución de procedimientos, estrategias, técnicas, habilidades, destrezas, métodos, etc. Podríamos decir que a diferencia del saber qué, que es de tipo declarativo y teórico, el saber procedimental es de tipo práctico, porque está basado en la realización de varias acciones u operaciones ordenadas, dirigidas a la consecución de un objetivo (Zavala, 2000).

En este orden de ideas, definimos los procedimientos (que incluyen las habilidades y destrezas) como un conjunto de acciones ordenadas y dirigidas hacia la consecución de una meta determinada (Coll y Valls, 1994). Así, algunos ejemplos de procedimientos pueden ser: la elaboración de gráficas estadísticas o informes de laboratorio, el uso de algoritmos u operaciones matemáticas, la elaboración de mapas conceptuales y el uso correcto de algún instrumento como un microscopio o una balanza.

En cuanto a los **contenidos actitudinales**, cabe señalar que diversos autores han destacado la importancia que tiene para los estudiantes, contar con actitudes y valores positivos hacia la Ciencia y su enseñanza a la hora de construir el conocimiento científico escolar (actitudes y valores que en nuestro caso trasladamos a la Biotecnología y su enseñanza). Por lo que, los contenidos actitudinales deben, necesariamente, formar parte del currículo de Ciencias, y ser enseñados con una atención diferenciada (Ferreyra, 2007).

De acuerdo con Zabala (2000), el término contenidos actitudinales agrupa una serie de contenidos que a su vez podemos clasificar en valores, actitudes y normas, siendo cada clase una entidad diferenciada.

- Los *valores* corresponden a los principios o las ideas éticas que permiten a las personas emitir un juicio sobre las conductas y su sentido. Son valores: la solidaridad, el respeto a los demás, la responsabilidad, la honestidad, etc.
- Las *actitudes* son tendencias o predisposiciones relativamente estables de las personas a actuar de cierta manera. Son la forma en que cada persona concreta su conducta de acuerdo con unos valores determinados. Así, son ejemplo de actitudes: cooperar con el grupo, ayudar a los compañeros, respetar el medio ambiente, participar en las tareas escolares, etc.
- Las *normas* son patrones o reglas de comportamiento que hay que seguir en determinadas situaciones que obligan a todos los miembros de un grupo social. Las normas constituyen la forma pactada de concretar unos valores compartidos por un colectivo e indican lo que se puede hacer y lo que no se puede hacer en este grupo.

En este apartado cabe señalar finalmente, que en sus comienzos, la etapa de sistematización de la categoría conocimiento sobre los contenidos de enseñanza fue desarrollada atendiendo a las subcategorías que acabamos de presentar, sin embargo, el análisis de los datos obtenidos y el objetivo de establecer relaciones entre el Conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido de los profesores estudiados, nos llevaron a replantear la subcategoría de contenidos conceptuales, asociando dichos contenidos a unas nuevas subcategorías, denominadas: *Naturaleza de la Biotecnología*, *Contenidos conceptuales*, *Contenidos procedimentales* y *Contenidos actitudinales*, subcategorías que reiteramos, emergieron de los datos, y que nos permitieron relacionar el Conocimiento Didáctico de los profesores estudiados con su conocimiento sobre la Biotecnología.

#### **2.1.2.5.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza**

Como ya hemos visto, de acuerdo con Magnusson, Krajcik y Borko (1999) el componente conocimiento de las estrategias de enseñanza está conformado por dos categorías: el conocimiento de las estrategias para la enseñanza de una asignatura específica y, el conocimiento de las estrategias para la enseñanza de tópicos específicos; estrategias que según los autores, se diferencian respecto a su alcance, dado que las estrategias de enseñanza para una asignatura específica, como las ciencias naturales, son ampliamente aplicables, mientras que las estrategias de enseñanza de tópicos específicos se utilizan en la enseñanza de temas particulares dentro de un dominio de la ciencia.

Los autores afirman además que el uso de las estrategias por parte de los docentes está influenciado por sus creencias sobre los propósitos y objetivos de la enseñanza de la ciencia, es decir por su “orientación para la enseñanza de la ciencia”.

Dentro del conocimiento de estrategias de enseñanza de tópicos específicos, los autores contemplan dos categorías: representaciones y actividades. La categoría representaciones hace referencia a los conocimientos de los profesores sobre las formas de representar conceptos o principios específicos (ilustraciones, ejemplos, modelos o analogías) con el fin de facilitar el aprendizaje de sus estudiantes, así como al conocimiento de las fortalezas y debilidades relativas a tales representaciones. En la categoría de actividades los autores incluyen el conocimiento sobre problemas, demostraciones, simulaciones, investigaciones o experimentos que se pueden utilizar con la intención de ayudar a los estudiantes a comprender conceptos específicos.

No obstante, hablar del conocimiento sobre estrategias de enseñanza obliga a ir más allá de los planteamientos de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), y de esta forma, revisar diferentes autores que han abordado la pregunta ¿cómo enseñar?, y en correspondencia han realizado algún desarrollo acerca de las estrategias de enseñanza. Para nuestro caso, revisaremos algunos autores que se han interesado por las estrategias de enseñanza de las Ciencias Naturales. No es nuestro propósito hacer una presentación detallada de esas diversas propuestas de enseñanza, tan solo queremos contrastar diversas alternativas, cada una de las cuales responde a un modelo de enseñanza concreto de la educación científica, para finalmente presentar la definición de estrategia de enseñanza que consideraremos en esta investigación.

En este orden de ideas, a continuación, presentaremos brevemente los que, de acuerdo con Pozo y Gómez (1998) son los diferentes enfoques desde los que se ha abordado la enseñanza de la ciencia, que de acuerdo con Jiménez-Aleixandre (2000) podemos acaparar con modelos de enseñanza de las ciencias. Cabe resaltar que estos enfoques están influenciados por suposiciones y teorías acerca de cómo se aprende (Campanario y Moya, 1999), por lo que ofrecen recomendaciones concretas para secuenciar las actividades de enseñanza de acuerdo con sus postulados (Lledó y Cañal, 1993).

**a) La enseñanza tradicional de la ciencia.** En este modelo, el profesor es básicamente un proveedor de conocimientos ya elaborados, listos para el consumo y el estudiante, el consumidor de esos conocimientos acabados, presentados como hechos aceptados y verdaderos (Pozo y Gómez, 1998). Aunque esta concepción educativa resulte poco sostenible, a la luz de todos los recientes desarrollos sobre el aprendizaje de la ciencia, es innegable que en muchas de las aulas predomina aún hoy en día, un modelo de enseñanza por transmisión (Campanario y Moya, 1999), ya que muchos de sus supuestos son explícita o implícitamente asumidos por numerosos profesores de ciencias.

- b) La enseñanza por descubrimiento.** Frente a la idea de que la mejor forma de enseñar ciencia es transmitir a los estudiantes los conocimientos científicos, surge otra corriente importante en la educación científica, según la cual la mejor manera de que los estudiantes aprendan ciencia es haciendo ciencia, por lo que la enseñanza debe basarse en experiencias que les permitan investigar y reconstruir los principales descubrimientos científicos. Aparece así el aprendizaje significativo, cuyos defensores, fundamentaron su propuesta en la teoría de Piaget (Campanario y Moya, 1999). Se supone entonces que la metodología didáctica más potente es de hecho la propia metodología de la investigación científica; nada mejor para aprender ciencia que seguir los pasos de los científicos, enfrentarse a sus mismos problemas para encontrar las mismas soluciones (Pozo y Gómez, 1998), ya que hacer ciencia corresponde a aprender ciencia. En este orden de ideas, según el modelo de enseñanza por descubrimiento, enseñar ciencias es enseñar las destrezas de investigación, es decir, organizar y coordinar actividades experimentales (Jiménez-Aleixandre, 2000), de manera que lo que hace el profesor es diseñar escenarios para el descubrimiento, en los que su papel se limita a facilitar el aprendizaje de los estudiantes a partir de ciertas actividades más o menos guiadas.
- c) La enseñanza expositiva.** Según este enfoque, apoyado principalmente por Ausubel (1973), los problemas generados por la enseñanza tradicional no se deben a su enfoque expositivo sino al inadecuado manejo de los procesos de aprendizaje de los estudiantes, por lo que, para fomentar la comprensión, o en sus palabras, un aprendizaje significativo, no es necesario recurrir al descubrimiento sino mejorar la eficacia de las exposiciones. En este sentido, para Ausubel, el aprendizaje de la ciencia consiste en lograr que los estudiantes asuman como propios los significados científicos, por lo que la estrategia didáctica deberá radicar en un acercamiento progresivo de las ideas de los estudiantes a los conceptos científicos, el núcleo de los currículos de ciencias (Pozo y Gómez, 1998), con lo que, contenidos como las actitudes y los procedimientos, quedan relegados a un segundo plano, lo importante es que los alumnos acaben por compartir los significados de la ciencia. De esta manera, para que una explicación o exposición, ya sea oral o escrita, resulte eficaz, es preciso que establezca de modo explícito relaciones entre la nueva información que se va a presentar y ciertos conocimientos que ya estén presentes en la estructura conceptual del estudiante, ideas inclusoras que posibilitan la asimilación de la nueva información. Cuando no existan esas ideas inclusoras o su activación directa resulte improbable, es preciso recurrir a un organizador previo, lo que suele constituir la primera fase en una secuencia de enseñanza basada en la enseñanza expositiva.
- d) La enseñanza mediante el conflicto cognitivo.** Como una alternativa tanto a la enseñanza tradicional por transmisión como a la enseñanza por descubrimiento, diversos autores han

planteado la búsqueda del cambio conceptual como fundamento de las posiciones llamadas constructivistas. Desde estas propuestas se insiste en la necesidad de partir de las concepciones alternativas de los estudiantes para, confrontándolas con situaciones conflictivas, lograr un cambio conceptual, entendido como la sustitución de las ideas previas por otras teorías más potentes, es decir más próximas al conocimiento científico. Aunque debe ser el propio estudiante el que tome conciencia de ese conflicto y lo resuelva, los profesores pueden utilizar todos los recursos, expositivos y no expositivos, a su alcance para hacer ver al estudiante las insuficiencias de sus propias concepciones (Pozo y Gómez, 1998).

- e) **La enseñanza mediante investigación dirigida.** Más allá del cambio conceptual, los modelos de enseñanza de la ciencia mediante investigación dirigida asumen que, para lograr cambios profundos en la mente de los estudiantes, no sólo conceptuales sino también metodológicos y actitudinales, es preciso situarles en un contexto de actividad similar a la que vive un científico, pero bajo la atenta dirección del profesor que, actuaría como director de investigaciones (Gil, 1993). Esta propuesta también acepta el paralelismo entre el aprendizaje de la ciencia y la investigación científica, pero desde nuevos planteamientos epistemológicos y didácticos, en los que concibe la investigación científica como un proceso de construcción social y con ello la forma de llevar esa investigación al aula como guía del trabajo didáctico (Pozo y Gómez, 1998). El desarrollo de la secuencia de contenidos se apoya entonces en el planteamiento y resolución conjunta de *problemas* por parte del profesor y los estudiantes. Estos problemas deben consistir en situaciones abiertas, que exijan la búsqueda de nuevas respuestas por parte de los estudiantes bajo la supervisión del profesor, y se corresponderán, por tanto, dentro de la resolución de problemas con la realización de pequeñas investigaciones que en lo posible integren tantos aspectos cualitativos como cuantitativos. La labor del profesor será no sólo orientar la investigación de los estudiantes, como hace el director de cualquier proyecto de investigación, sino también reforzar, matizar o cuestionar las conclusiones obtenidas por los alumnos a la luz de los aportes hechos previamente por los científicos en la resolución de esos mismos problemas (Campanario y Moya, 1999).

A los modelos didácticos presentados por Pozo y Gómez (1998), adicionamos uno más, que hemos denominado **incorporación de relaciones Ciencia – Tecnología – Sociedad** y que desarrollamos como sigue:

- f) **Incorporación de relaciones Ciencia – Tecnología – Sociedad.** De acuerdo con Banet (2010), a partir de las últimas décadas del siglo XX, la educación científica viene intentando dar respuesta a la escasa cultura científica y tecnológica que reciben los estudiantes de secundaria (p. 200). En este sentido, Acevedo (2004) señala que el movimiento educativo CTS propone una enseñanza de las ciencias a partir de un planteamiento radical del currículo en

todos los niveles de enseñanza, con la principal finalidad de dar una formación en conocimientos y, especialmente en valores, que favorezca la participación ciudadana responsable y democrática en la evaluación y el control de las implicaciones sociales de la ciencia y la tecnología. Así pues, en el ámbito educativo, la educación CTS es una innovación destinada a promover una extensa alfabetización científica y tecnológica (*science and technology literacy*), de manera que se capacite a todas las personas (*science and technology for all*) para poder tomar decisiones responsables frente a cuestiones controvertidas relacionadas con la calidad de las condiciones de vida en una sociedad cada vez más impregnada de ciencia y tecnología (Acevedo et al., 2002). En su trabajo, Acevedo (1996), señala que en la educación CTS se utilizan actividades que suponen una gran implicación personal para el alumnado y que sirven para desarrollar programas de enseñanza y elaborar proyectos curriculares a partir de problemas de interés social de la ciencia y la tecnología, que incluyen tanto sus posibles efectos beneficiosos como los riesgos potenciales. En este sentido, el autor resume, en la siguiente lista, las estrategias de enseñanza utilizadas en la enseñanza CTS.

- Resolución de problemas abiertos incluyendo la toma razonada y democrática de decisiones.
- Elaboración de proyectos en pequeños grupos cooperativos.
- Realización de trabajos prácticos de campo.
- Juegos de simulación y de "roles" (*role-playing*).
- Participación en foros y debates.
- Presencia de especialistas en el aula, que pueden ser padres y madres de la comunidad educativa.
- Visitas a fábricas y empresas, exposiciones y museos científico-técnicos, complejos de interés científico y tecnológico, parques tecnológicos, etc.
- Breves períodos de formación en empresas y centros de trabajo.
- Implicación y actuación civil activa en la comunidad.

El panorama anterior nos permite observar que no existe una única respuesta al problema de cómo enseñar ciencias (Eggen y Kauchak, 2009). En esta investigación y de acuerdo con Caamaño (2004) consideramos que la manera como enseñamos ciencias y por ende Biotecnología, depende de los objetivos que queremos alcanzar y que esos objetivos dependen a su vez de la concepción que tenemos de cómo se hace ciencia y de cómo se puede aprender ciencia en el ámbito escolar (p. 61), cuestiones que como hemos señalado han sido desarrolladas a lo largo de la historia a través de diferentes modelos didácticos y sus propuestas particulares de enseñanza. En este sentido, señalamos que los modelos didácticos acogidos por los docentes determinan idealmente sus estrategias de enseñanza, no obstante, y de acuerdo con Jiménez Aleixandre

(2000), en la práctica, el hecho de que algunos docentes *“afirmen optar por modelos como el constructivista, o el de descubrimiento, no debe llevarnos a creer que el resto no lo tienen, sino más bien que su modelo es de carácter implícito”* (p. 168), ya que los fundamentos psicológicos, pedagógicos y de otro tipo de las propuestas de enseñanza pueden revestir la forma de suposiciones acerca de la mejor forma de aprender y enseñar y no necesariamente de una reflexión teórica muy elaborada.

Coincidimos así con García y Cañal (1995), para quienes, en las aulas existe un desnivel entre teoría y práctica, por lo que es indispensable complementar los enfoques más “macro” o “teóricos”, que nos proporcionan los modelos de enseñanza generales con otros de tipo más “micro” o “en la acción” que analicen la proyección e implicaciones prácticas de esos modelos en la dinámica del aula, en forma de estrategias de enseñanza (p. 11).

Dado que para los autores es posible y necesario caracterizar las estrategias de enseñanza concretas que se desarrollan en las aulas por medio del análisis de la práctica de los docentes, en este trabajo de investigación hemos decidido acoger y modificar la propuesta de García y Cañal (1995), ampliada más adelante por Cañal (2000) acerca del concepto de estrategia de enseñanza, el cual refieren como un *“sistema constituido por unos determinados tipos de actividades de enseñanza que se relacionan entre sí mediante unos esquemas organizativos característicos”* (García y Cañal, 1995, p. 6).

Para efectos de nuestro análisis entenderemos que en una sesión de clase es posible determinar y caracterizar las estrategias de enseñanza que organizan, de manera consciente o inconsciente, su desarrollo (Cañal, 2000). Cada estrategia de enseñanza está constituida por unas actividades de enseñanza que se relacionan entre sí y poseen un sentido didáctico o finalidad. Consideramos que las actividades de enseñanza (por ejemplo, una puesta en común, una exposición, un trabajo práctico, leer un documento, dar instrucciones) constituyen segmentos delimitados de las estrategias de enseñanza, que en su conjunto conforman secuencias de actividades que constituyen la matriz organizativa que regula y orienta la dinámica de la clase.

Así pues, desde nuestro punto de vista, en cada clase es posible encontrar una o varias estrategias de enseñanza, cada una de ellas conformada por una secuencia de actividades organizadas, reguladas y orientadas por el profesor, a fin de impulsar y facilitar el alcance de las finalidades propuestas en cada caso. De igual manera, es posible encontrar actividades desarticuladas, desprovistas de una organización interna que posibiliten el aprendizaje de los estudiantes.

Desde nuestro posicionamiento, definimos entonces una **estrategia de enseñanza** como la secuencia de actividades que el docente ejecuta de manera reflexiva con una intención



ensamblada con un propósito de aprendizaje. En este orden de ideas, establecemos que una estrategia de enseñanza está constituida por unas actividades de enseñanza que se relacionan entre sí mediante un esquema organizativo característico (el cual puede cambiar, de acuerdo a lo que acontece en el aula de clase) y por los objetivos o funciones que persigue.

Con lo anterior queremos señalar que las estrategias de enseñanza parten de un referente implícito o explícito de aprendizaje, y que no corresponden a una suma de actividades, sino que su unidad como actividades relacionadas denota un referente didáctico del aprendizaje.

### **2.1.2.5.3 Conocimiento sobre los estudiantes**

Dentro de los cuatro componentes del PCK que Grossman (1990) considera, se encuentra el conocimiento de los procesos de aprendizaje de los alumnos. Al respecto, y de acuerdo con Valbuena (2007), la autora hace especial énfasis en que el profesor conozca tanto las concepciones como los intereses de los alumnos, como base para la selección y organización de contenidos curriculares específicos, poniendo un especial acento en el conocimiento de las ideas erróneas de los alumnos.

Como ya hemos señalado, Magnusson, Krajcik y Borko (1999) retoman y hacen aportes al enfoque del conocimiento profesional docente de Grossman (1990), especialmente en lo concerniente a la estructura del PCK. De esta manera, los autores se refieren al componente *conocimiento y concepciones del aprendizaje de la Ciencia por parte de los estudiantes* como el conocimiento y las creencias de los profesores sobre cómo ayudar a los estudiantes a desarrollar un conocimiento científico específico. En este sentido establecen dos subcategorías de este componente: el conocimiento y las creencias acerca de los requisitos para el aprendizaje de conceptos científicos específicos, entre ellos las ideas previas y las capacidades y habilidades que los estudiantes deben desarrollar para aprender ciencias y, el conocimiento de conceptos o temas de ciencia que los estudiantes encuentran difíciles de aprender, ya sea porque los temas son abstractos o porque no saben planear adecuadas estrategias para resolver algunos problemas.

Evidentemente, de acuerdo con la propuesta de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) para enseñar un contenido se deben tener en cuenta las características de los estudiantes, ya que, si bien es cierto, existen similitudes entre los alumnos, hay aspectos de orden personal y contextual que conllevan a una diversidad de situaciones y condiciones de aprendizaje (Valbuena, 2007). Adicionalmente, cabe señalar que los autores ponen de manifiesto la necesidad de conocer y tener en cuenta los errores conceptuales de los estudiantes (Abell, 2007).

De lo anterior es necesario señalar que tanto la propuesta de Grossman (1990) como la de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) denotan la consideración que los estudiantes no son una tabula rasa, ni simples receptores pasivos de información, por lo contrario, ambas propuestas dejan ver su reconocimiento de las ideas y concepciones de los estudiantes en los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

De acuerdo con Martínez (2017) alrededor del tema de las concepciones erróneas (misconceptions) han surgido numerosas investigaciones que describen las ideas de los estudiantes respecto de diferentes tópicos, advirtiendo que este tema aún requiere de más claridad en su nominación, ya que existe una gran diversidad de terminología, lo que al mismo tiempo denota preocupación por el conocimiento de los estudiantes desde diferentes referentes.

En esta investigación nos ubicamos en una posición constructivista del aprendizaje (Porlán, 2002), desde la cual reconocemos que cuando un estudiante se enfrenta a un nuevo contenido a aprender, lo hace siempre armado con una serie de conceptos, concepciones, representaciones y conocimientos, adquiridos en el transcurso de sus experiencias previas, que utiliza como instrumentos de lectura e interpretación y que determinan en buena parte las informaciones que seleccionará, cómo las organizara y que tipos de relaciones establecerá entre ellas.

Con esto en mente y haciendo referencia a lo que algunos autores plantean, destacamos las siguientes características del conocimiento previo de los estudiantes (concepciones, representaciones e ideas previas) con las que estamos de acuerdo:

- Cubero (1994) señala que las concepciones de los estudiantes no son ideas que se deban al azar, sino que por el contrario se relacionan con lo que conocen y con las características y capacidades de su pensamiento. “Se tratan de una representación dotada de cierta coherencia interna, esto es, no parecen ser una serie de ideas aisladas sobre hechos y sucesos, sino que forman parte de estructuras conceptuales generales capaces de proporcionar una comprensión coherente sobre fenómenos cotidianos” (p. 38).
- Pozo y Gómez (2000) indican que las concepciones son generalizadas, es decir las comparten personas de diversas culturas, edades y niveles educativos; en este sentido, Cubero (1993) expresa que las concepciones de los alumnos no son ilimitadas, es decir en ellas se encuentran patrones comunes, lo que facilita su identificación en el aula.
- Giordan y De Vecchi (1999) señalan que una concepción es un modelo explicativo subyacente, el cual puede evolucionar a medida que se construye el conocimiento.
- Pozo y Gómez (2000) expresan que las concepciones son estables en el tiempo y resistentes a la modificación a través de la instrucción.

De manera relevante señalamos también que, de acuerdo con la revisión de Martínez (2017), estudios recientes revelan que la investigación del conocimiento de los estudiantes comprende, además de las dimensiones conceptuales, las actitudes, valores, creencias y procesos metacognitivos. Según la autora, de manera explícita las investigaciones indican que “aludir al conocimiento de los estudiantes no se trata de restringirlo a sus concepciones o ideas, sino que implica analizar otras dimensiones: afectivas, valorativas, axiológicas, entre otras, hecho visible en la definición de temas centrales en eventos especializados” (p. 91).

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta tesis nos referiremos al componente del CDC denominado conocimiento de los estudiantes, como el conocimiento de los profesores acerca de las características de los estudiantes que pueden influir en su aprendizaje de la Biotecnología, entre ellas, los conocimientos previos tal y como los acabamos de presentar, pero también las experiencias de los estudiantes, sus intereses, sus creencias y procesos metacognitivos; conocimiento que permitirá al profesor de Biotecnología identificar los niveles de dificultad que demanda el aprendizaje de los contenidos de enseñanza para, plantear estrategias que posibiliten superar tales dificultades, al igual que organizar y abordar contenidos y actividades que incorporen el uso didáctico de sus conocimientos previos en el diseño de las unidades didácticas, a partir del reconocimiento de que las ideas de los estudiantes son fuente importante de contenidos escolares.

#### **2.1.2.5.4 Conocimiento sobre la evaluación**

De acuerdo con Magnusson, Krajcik y Borko (1999) el componente Conocimiento sobre la evaluación consta de dos categorías: el conocimiento de las dimensiones del aprendizaje de las ciencias a evaluar y, el conocimiento de los métodos por los cuales el aprendizaje puede ser evaluado. Dentro de la categoría de *Conocimiento de las dimensiones del aprendizaje a evaluar* los autores reconocen cinco dimensiones con base en la Evaluación Nacional del progreso Educativo (NAEP por su sigla en inglés): la comprensión conceptual, los temas interdisciplinarios, la naturaleza de la ciencia, la investigación científica y el razonamiento práctico. Por su parte, la categoría de *Conocimiento de los métodos de evaluación* se refiere al conocimiento de los profesores sobre las formas que se pueden emplear para evaluar los aspectos específicos del aprendizaje científico de los estudiantes (p. 108).

Sin desconocer los valiosos aportes de la propuesta de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), en esta tesis entendemos que la evaluación ha superado el concepto reduccionista que limitaba sus funciones a una valoración cuantitativa del rendimiento de los estudiantes y se ha transformado en un instrumento de investigación que proporciona información acerca de todos los elementos de la acción educativa (Geli, 2000).

De esta manera, y de acuerdo con la autora, entendemos también que evaluar es “recoger información sobre los procesos y los resultados del proyecto de enseñanza, desde el inicio hasta el final, analizarla e interpretarla para tomar decisiones respecto tanto al proceso de enseñanza – aprendizaje de los estudiantes como a todos los factores que inciden en la calidad del proyecto de enseñanza” (Geli, 2000, p. 189).

De acuerdo con la autora en mención, el papel de la evaluación es distinto en cada uno de los modelos didácticos. En este orden de ideas, Pozo y Gómez (1998) señalan que en el modelo tradicional, la evaluación se reduce a determinar si el alumno ha adquirido los conocimientos exigidos, a partir de su capacidad de reproducción de lo que dice o hace el profesor, mientras que en los modelos de enseñanza por descubrimiento la evaluación se amplía al trabajo de los estudiantes, orientándose a la comprensión conceptual, pero también a la forma en que se alcanza el dominio conceptual, es decir a los procedimientos y actitudes desplegados por los alumnos durante las situaciones didácticas; y, que en los modelos basados en las teorías del constructivismo, la evaluación se incorpora al proceso de enseñanza y controla el desarrollo del aprendizaje a lo largo de todo el proceso didáctico, a través de las mismas actividades de enseñanza y también de actividades puntuales como el desarrollo de mapas conceptuales, las cuales deben ser retroalimentadas por parte del profesor.

Hasta aquí, hemos querido esbozar brevemente cómo se percibe la evaluación desde los modelos de enseñanza de las ciencias, a continuación, presentaremos las subcategorías que tendremos en cuenta en la categoría Conocimiento de la Evaluación:

**a) Conocimiento de las dimensiones de la evaluación**, en esta subcategoría tendremos en cuenta los aportes de Gil, Carrascosa, Furió y Martínez (1991), para quienes la evaluación del aprendizaje de las ciencias debe extenderse a sus aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales (p. 100), evitando así la habitual reducción a la memorización repetitiva de los conocimientos teóricos y su aplicación igualmente repetitiva de los ejercicios de lápiz y papel. Con lo anterior, definimos tres dimensiones de la evaluación: la dimensión conceptual, la dimensión procedimental y la dimensión actitudinal.

**b) Conocimiento de los momentos y la finalidad de la evaluación**, de acuerdo con Geli (2000), se pueden distinguir cuatro tipos de evaluación: diagnóstica, formativa, sumativa y formadora. La *evaluación diagnóstica* o *inicial* se realiza al comienzo del proceso didáctico y permite determinar el nivel inicial de los educandos, para definir una propuesta de enseñanza encaminada a facilitar el aprendizaje de cada uno de los estudiantes (Zabala, 2000). Por su parte la *evaluación formativa* está presente a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje e informa sobre el progreso de los alumnos y permite al profesor intervenir y regular sobre la marcha el proceso de aprendizaje a través de ejercicios de retroalimentación que conlleven a modificar y adaptar las actividades de enseñanza y de esta manera incidir positivamente en el aprendizaje

de los estudiantes (Geli, 2000). La *evaluación sumativa* en cambio, se aplica al final de proceso y permite conocer y valorar el aprendizaje último del estudiante luego de su recorrido durante el proceso didáctico. Su finalidad última no es solo pronunciarse sobre el grado o éxito de los estudiantes en sus aprendizajes, sino pronunciarse sobre el nivel de éxito o fracaso del proceso didáctico que se ha desarrollado (Zabala, 2000). En lo que tiene que ver con una *evaluación formadora*, es una propuesta que pretende que de manera progresiva la regulación de los aprendizajes vaya siendo progresivamente responsabilidad del estudiante, en tanto el estudiante “asume conscientemente los objetivos del aprendizaje, aprende a planificar y realizar acciones que debe llevar a cabo para lograr estos objetivos, aprende a revisar y contrastar sus puntos de vista y participar activamente con sus compañeros y con el profesor en la construcción de nuevos significados” (Geli, 2000, p.192).

**c) Conocimiento de las formas de evaluar**, distinguimos la autoevaluación, la coevaluación y la heteroevaluación. La autoevaluación se refiere a aquella valoración que el alumno o el docente realiza acerca de sus propias producciones y/o procesos de aprendizaje (Clavijo, 2008). Al respecto Sanmartí (2011) menciona que “para aprender es necesario identificar errores y dificultades en la forma de pensar, hacer, sentir o valorar; entender sus causas y tomar decisiones sobre la mejor manera de superálas, es decir, autoevaluarse (...)” (p. 151). La coevaluación se refiere a la evaluación conjunta que los estudiantes y el docente hacen de un producto o proceso realizado por alguno de los primeros; se manifiesta en la interacción entre los sujetos que participan en el proceso, en la negociación del docente y los estudiantes entre ellos y con el docente. La evaluación, vista desde esta perspectiva, debe lograr una interrelación entre una evaluación individual y otra grupal; o sea, un proceso que permita a cada integrante del grupo reflexionar sobre su aprendizaje y confrontarlo con los demás integrantes del grupo desde un patrón socializado (Clavijo, 2008). Por último, encontramos la *heteroevaluación*, aquella que realiza el profesor sobre las acciones de los educandos para tomar decisiones sobre actividades o propuestas que incidan positivamente en el aprendizaje de estos, aunque dicha evaluación también puede presentarse de los alumnos hacia el profesor, pues este proceso se trata de una actividad colectiva que involucra a todos los integrantes del sistema educativo (Sanmartí, 2011).

**d) Conocimiento de los instrumentos de evaluación**, a este respecto coincidimos con Geli (2000), para quien las técnicas e instrumentos de evaluación hacen referencia a dos campos: *la evaluación de la calidad de los componentes del proyecto educativo y la evaluación de los conocimientos de los estudiantes*. Los primeros se enfocan en la evaluación de aspectos concretos como el papel del profesor, la planificación de la asignatura y la disponibilidad de recursos informáticos, entre otros. Entre tanto, los segundos se pueden clasificar en cuantitativos y cualitativos, según midan el nivel de aprendizaje de los estudiantes en escalas numéricas o proporcionen la descripción del aprendizaje de los estudiantes. Cabe reiterar además que para llevar a cabo la recogida de información de los procesos y los resultados de la enseñanza –

aprendizaje de las ciencias existen una amplia variedad de estrategias, instrumentos y técnicas, tan diversas y numerosas como la imaginación y la creatividad de los profesores (p. 197).

#### **2.1.2.5.5 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza**

Atendiendo a las críticas respecto al componente de orientaciones hacia la enseñanza de la ciencia del modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), realizadas por Friedrichsen et al., (2011), quienes señalan que no existe un consenso entre los investigadores acerca de su definición, y proponen que dicho componente se relaciona con las creencias de los profesores acerca de los objetivos y propósitos de la enseñanza de la ciencia, de la naturaleza de la ciencia y de su aprendizaje; así como a la sugerencia del modelo consenso propuesto en la cumbre de 2012 (Gess-Newsome, 2015) en cuanto a eliminar las orientaciones hacia la enseñanza de la ciencia como componente del PCK, en esta investigación hemos decidido no incluir éste componente, y en su lugar, incorporar el conocimiento sobre los propósitos de enseñanza como componente del CDC.

En ese sentido, vale la pena tener en cuenta que, a partir de su investigación, Fernández – Balboa y Stiehl (1995), proponen el conocimiento sobre los propósitos de enseñanza como un componente del PCK (p. 304), el cual, señalan, hace referencia a los conocimientos y creencias de los docentes acerca de los propósitos y objetivos de la enseñanza en un determinado grado o nivel.

La finalidad de la enseñanza de las ciencias ha ido variando a lo largo de la historia, al tiempo que han variado los modelos pedagógicos y didácticos, es así como, al inicio del siglo XIX, la vinculación de las ciencias al currículo escolar estuvo asociada a la preparación de los adolescentes para acceder a la universidad o a estudios específicos (Sanmartí, 2002), a través de un modelo de enseñanza tradicional en el que se presentaban definiciones y leyes como conocimientos ya acabados, que el estudiante debía repetir sin analizar ni cuestionar (Pozo y Gómez, 1998).

A partir de las críticas realizadas a este modelo de enseñanza surgen, hacia mediados del siglo XX modelos de enseñanza orientados por perspectivas inductivistas, desde los que la enseñanza de la ciencia tiene como propósito facilitar descubrimientos científicos, asumiendo que la mejor manera de que los alumnos aprendan ciencia es haciendo ciencia (Pozo y Gómez, 1998).

El desarrollo de nuevos planteamientos –alejados del inductivismo–, junto con las contribuciones de la psicología cognitiva, respaldaron críticas fundamentadas a la enseñanza por descubrimiento y propiciaron, a partir de los años 80 del siglo pasado, que la enseñanza de las Ciencias se

planteara, desde perspectivas constructivistas lograr que los alumnos asumieran como propios los significados de los conceptos científicos incorporados en los currículos escolares (Pozo y Gómez, 1998).

A partir de la última década del siglo XX, se han ido incorporando a la educación científica dimensiones tecnológicas, sociales y medioambientales, a partir de movimientos educativos para los que se han propuesto distintas denominaciones (Membiela, 2002; Furió, Vilches, Aranzabal, y Romo, 2001; Acevedo et al., 2003), entre ellas movimiento ciencia, tecnología y sociedad (CTS), ciencia para todos o alfabetización científica y tecnológica, en la idea de adaptar la formación de los estudiantes a las demandas de una sociedad en continua evolución y en este sentido, contribuir a que los ciudadanos participen, con criterios relativamente fundamentados, en los debates sobre aquellos problemas relevantes que afectan a la sociedad del siglo XXI en el marco de una sociedad más justa y democrática (Furió et al., 2001).

Estas propuestas de enseñanza de las ciencias incluyen como objetivos, que los estudiantes comprendan la contribución que las ciencias han tenido y tienen en la evolución de nuestra sociedad a través del análisis de las complejas interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad (Furió y Vilches, 1997). Así mismo, plantean como objetivo conocer los problemas derivados de un uso no planificado de la ciencia, potenciando una actividad de respeto y cuidado del medio y una gestión y aprovechamiento racional de los recursos existentes en el planeta (Furió et al., 2001).

También incluyen objetivos asociados a contenidos procedimentales, como la finalidad de que el alumnado aprenda qué es la ciencia y la tecnología y cómo trabajan, para adquirir destrezas que les permitan razonar mejor y resolver problemas de la vida cotidiana. Se proponen, también, objetivos asociados a contenidos actitudinales que pretenden conseguir despertar el interés de los estudiantes hacia la actividad científica, que desarrollen un interés crítico por dicha actividad, generando actitudes que les permitan valorar el papel que la ciencia juega en nuestras vidas, preparando así el camino para que, en el futuro, puedan participar colectivamente en la solución de los problemas con que se enfrenta la sociedad de la que forman parte (Furió et al., 2001).

Cabe señalar entonces, que en esta tesis entendemos que, cualquier propuesta de enseñanza de las ciencias, y en este caso de la Biotecnología, empieza con el planteamiento de sus propósitos de enseñanza, ya que éstos son una condición necesaria para dar sentido al proceso de aprendizaje. De acuerdo con Acevedo (2004), estas finalidades derivan, como ya habíamos mencionado, tanto de los modelos didácticos antes esbozados, como de las creencias que se tengan sobre la materia de enseñanza: ideológicas, epistemológicas, sociológicas, etc.; y además, pueden estar influenciadas por las finalidades educativas de la institución escolar, entendidas

éstas como la opción que realiza la comunidad educativa al concretar y dar prioridad a los principios, valores y normas que dotan de identidad y estilo propio a cada institución escolar.

#### **2.1.2.5.5.6 Conocimiento sobre el contexto**

Como ya mencionamos, el análisis que realizamos de los datos de investigación, nos permitió identificar el Conocimiento sobre el Contexto como componente del CDC para la enseñanza de la Biotecnología, componente que no consideramos en nuestra concepción inicial de los componentes constituyentes del CDC, pero que incluimos en los procesos de sistematización de la información y de mapeo del CDC.

Cabe señalar entonces que en las publicaciones revisadas encontramos diferentes concepciones acerca del contexto en la enseñanza de las ciencias, entre ellas las de Caamaño (2005), quien señala que una de las maneras de dar relevancia a los contenidos del currículo es usar los contextos y las aplicaciones de la ciencia como medio que posibilite desarrollar los conceptos e ideas de la ciencia o justificar su importancia.

Según el autor, “evidentemente, existe una variedad de interpretaciones del término contexto que puede incluir aplicaciones sociales, económicas, medioambientales, tecnológicas e industriales de la ciencia”, por lo que a manera de síntesis señala que “contextualizar la ciencia es relacionarla con la vida cotidiana, actual y futura, de los estudiantes y hacer ver su interés para sus futuras vidas en los aspectos personal, profesional y social” (Caamaño, 2005, p. 1).

Además de esta concepción, encontramos la posición de Izquierdo (2017), para quien los contextos especializados en los que se lleva a cabo la actividad científica en los laboratorios, las preguntas que la sostienen y las maneras de intervenir, son muy diferentes de los contextos cotidianos en la escuela básica, por lo que es necesario diseñar la enseñanza de las ciencias a partir de los contextos escolares, ayudando a los alumnos a vivir la aventura de identificar fenómenos, intervenir en ellos y poder explicarlos (p. 311); adicionalmente, Sanmartí, Burgoa y Nuño (2011) entienden el contexto escolar como una situación o problema complejo, relevante socialmente y perteneciente al entorno del alumno.

Catret, Gomis, Ivorra, y Martínez (2013) hacen un planteamiento adicional cuando señalan que lo que el estudiante aprende en el contexto es aplicado en el mismo, por lo que su propuesta de enseñanza parte del contexto para introducir y desarrollar conceptos y modelos, que luego el estudiante aplica y utiliza para interpretar el propio contexto.

Lo anterior nos permite visualizar un consenso en cuanto a la importancia de la incorporación de situaciones del contexto, relevantes socialmente y pertenecientes al entorno de los estudiantes,



en la enseñanza de las ciencias, lo que conlleva a que los profesores de ciencias naturales, en este caso de Biotecnología, conozcan el entorno de la institución escolar, el entorno local, las situaciones cotidianas y particulares de los estudiantes, su entorno cultural y social, así como el contexto de la investigación biotecnológica respecto a las aplicaciones e implicaciones sociales, económicas, medioambientales, tecnológicas e industriales de la Biotecnología; conocimiento que le permitirá “contextualizar la enseñanza de la Biotecnología”, es decir, relacionarla con la vida cotidiana, actual y futura de los estudiantes y hacer ver su vinculación en su vida en los aspectos personal, profesional y social.

Así, y respecto al conocimiento sobre el contexto como componente del CDC, cabe mencionar que en las propuestas de Grossman (1990) y Magnusson, Krajcik y Borko (1999), el conocimiento del contexto, constituye uno de los dominios del conocimiento del profesor, pero no un componente del PCK, aunque lo influencia (Magnusson, Krajcik y Borko, 1999, p. 98).

No obstante, diferentes investigaciones si lo han incorporado dentro de los componentes del PCK/CDC, tal es el caso de los trabajos de Fernández-Balboa y Stiehl (1995), Banks, Leach y Moon (2005), Dueñas et al. (2016) y Dueñas (2019), a las que nosotros adherimos.

En este sentido, cabe señalar que en esta tesis estamos de acuerdo con Dueñas (2019), quien incorporó el conocimiento sobre el contexto como uno de los componentes del CDC, y señaló que dicho componente “corresponde al conocimiento que posee el profesor sobre las situaciones o condiciones de carácter social, económico, histórico, cultural y religioso que influyen en la enseñanza de un contenido específico” (p. 129).

### **2.1.3 El Conocimiento Disciplinar**

En 1986, Shulman distingue tres “conocimientos base” para la enseñanza: a) el conocimiento disciplinar, b) el PCK y c) el conocimiento curricular. Con lo que abre la discusión acerca de la importancia del conocimiento de los profesores como un conocimiento profesional, y, además, sobre la diferencia entre el conocimiento de la materia de enseñanza y el conocimiento para la enseñanza de ese contenido, es decir, la diferencia entre el conocimiento disciplinar y el PCK y la influencia de ambos conocimientos en la práctica docente.

De acuerdo con el autor, y como ya hemos mencionado, para enseñar adecuadamente el contenido de la materia se requiere tener en cuenta las estructuras de esa disciplina, es decir, la *estructura sustantiva* y la *estructura sintáctica* (Shulman, 1986, p. 9).

En lo que sigue revisaremos nuestro posicionamiento en cuanto a la relación entre el conocimiento disciplinar y el CDC, y también, frente a la definición de conocimiento disciplinar y sus componentes en esta investigación.

### **2.1.3.1 El Conocimiento Disciplinar y su relación con el Conocimiento Didáctico del Contenido**

Como ya habíamos notado, en las propuestas originales de Shulman (1986, 1987), así como en las de Magnusson, Krajcik y Borko (1999) y Park y Oliver (2008), el conocimiento disciplinar es un conocimiento que no hace parte del PCK pero que influye en él, por lo que el conocimiento disciplinar es un conocimiento importante que debe considerarse cuando se estudia el PCK.

La propuesta sobre los componentes del PCK de Hashweh (2005) es muy similar a la de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), sin embargo, el autor considera el conocimiento disciplinar como parte del PCK. En este orden de ideas, cabe destacar, que, en su revisión, Kind (2009) hace referencia a otras seis investigaciones que incorporan al conocimiento disciplinar como componente del PCK, por lo que se alejan de la propuesta original de Shulman, tres de ellas, puramente teóricas y otras tres, que adicionalmente presentan resultados empíricos (p.176).

Según Kind (2009), la pregunta respecto a si el conocimiento disciplinar y el PCK son conocimientos base diferentes o hacen parte del mismo conocimiento, requiere discusión, más aún cuando existen tantas propuestas que incluyen el conocimiento disciplinar como un componente del PCK.

En este sentido, la autora retoma a Gess-Newsome (1999), quien en su trabajo plantea la existencia de dos clases de modelos del PCK, por un lado, los modelos **“transformativos”** los cuales consideran al PCK como una categoría distinta al conocimiento disciplinar, en los que el PCK es utilizado para convertir el conocimiento disciplinar en un conocimiento orientado a la enseñanza, por lo que, modelos como los de Grossman (1990) y Magnusson, Krajcik y Borko (1999) son transformativos; y por otro lado, los modelos **“integrativos”**, que incluyen al conocimiento disciplinar como parte del PCK, y por tanto consideran el PCK como un conocimiento en el que se comprimen el conocimiento disciplinar, el pedagógico y el del contexto, alejándose de la propuesta original de Shulman.

A este respecto, cabe señalar que como hemos venido mencionando, nuestra investigación toma como punto de referencia el modelo de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), de manera que consideramos el conocimiento disciplinar y el CDC como dos categorías de conocimiento diferentes que hacen parte del conocimiento profesional del profesor y al mismo tiempo, que el conocimiento disciplinar de un profesor, influencia su CDC y por tanto su práctica educativa.

A continuación, presentamos nuestro posicionamiento respecto al conocimiento disciplinar, teniendo en cuenta su definición y sus componentes.

### **2.1.3.2 El Conocimiento Disciplinar en esta investigación: El Conocimiento sobre la Disciplina**

El término conocimiento disciplinar fue empleado por Shulman (1986, 1987) y posteriormente desarrollado por Grossman et al. (1989), quienes se centraron en el conocimiento disciplinar necesario para la enseñanza, señalando que los buenos profesores no sólo conocen su contenido sino que saben cosas sobre su contenido que hacen posible la enseñanza efectiva; lo que nos lleva a pensar que de acuerdo con los autores, lo que particulariza el conocimiento que debe poseer un profesor acerca de la materia que enseña no es el conocimiento de la disciplina, sino el conocimiento sobre la disciplina.

Así, y de acuerdo con Villar (2002), entre los investigadores y académicos del sector educativo existe un debate abierto sobre qué tipo de conocimiento disciplinar deben poseer los profesores. Al respecto, dice, “se ha argumentado, en primer lugar, que los profesores necesitan conocer menos acerca del contenido que otros especialistas en la misma materia: necesitan conocer lo que el currículum y los libros de texto requieren. En segundo lugar, se ha apuntado lo contrario: que los profesores necesitan conocer más que otros sobre su materia, particularmente, cuestiones referidas a normas sociales (qué utilidad social tiene el conocimiento, qué valores se desarrollan), así como a su utilidad y relevancia para la vida cotidiana” (p. 53).

En este sentido y según Ball, Thames y Phelps (2008), cuando Ball y Bass (2003) introdujeron el término “conocimiento *sobre* las matemáticas”, en vez de “conocimiento *de* matemáticas” en su trabajo de investigación con profesores, buscaban resaltar la naturaleza del conocimiento disciplinar respecto a: de dónde proviene, cómo cambia y cómo se establece su confiabilidad; postura que ha venido transformando la manera de entender el conocimiento disciplinar para la enseñanza en las investigaciones. Según los autores, además en el campo de la educación científica la investigación sobre lo que se ha denominado la Naturaleza de la Ciencia ha mostrado que las orientaciones específicas de los profesores al respecto, también hacen parte de su conocimiento disciplinar e influyen significativamente los actos educativos desarrollados en el aula (p. 393).

De esta manera y atendiendo a las investigaciones más recientes acerca de lo que deben saber los profesores de ciencias, para el caso de nuestra investigación hemos decidido plantear que el conocimiento disciplinar de los profesores no hace referencia exclusivamente al saber propio de la disciplina que enseñamos, representado en conceptos específicos, definiciones, convenciones y procedimientos, sino que lo que debemos conocer los profesores de ciencias se refiere al

**conocimiento sobre la disciplina que se enseña**, es decir, que además de conceptos y definiciones, debemos conocer sobre la historia de las ciencias, las metodologías que los científicos han utilizado y utilizan para resolver los problemas y construir conocimientos, las interacciones CTS, así como los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas, entre otros aspectos sobre la disciplina, que nos permiten seleccionar y secuenciar los contenidos de enseñanza, pensando en que los estudiantes han de saber *de* ciencia y *sobre* la ciencia, a fin de estar capacitados para la toma de decisiones informadas.

Como mencionamos previamente, Shulman (1986) se refirió al conocimiento disciplinar como uno de los conocimientos base para la enseñanza; en su revisión, Grossman et al. (1989) sugirieron cuatro dimensiones del conocimiento disciplinar para la enseñanza: el conocimiento del contenido, el conocimiento sustantivo, el conocimiento sintáctico y las creencias acerca de la materia que se enseña, las cuales retomaremos brevemente para luego presentar nuestro posicionamiento acerca de las categorías que consideramos constituyentes del Conocimiento sobre la Disciplina de los profesores que enseñan Biotecnología.

Respecto al *conocimiento del contenido* los autores señalan que a menudo el término ha sido usado como sinónimo del conocimiento disciplinar, aunque no es así. Para los autores, la dimensión conocimiento del contenido hace referencia a la “materia” de una disciplina: información objetiva, organización de principios y conceptos centrales. Por ejemplo, un profesor que posee conocimiento del contenido de Biología sabe acerca del RNA y del DNA, acerca de las teorías de la evolución y de la herencia, acerca de los ecosistemas y de los sistemas nerviosos. Además, tiene la habilidad para identificar, definir y discutir estos conceptos separadamente, pero también de identificar relaciones entre conceptos al igual que relaciones con conceptos externos a la disciplina. Así, el conocimiento del contenido es integral a la enseñanza, la falta de conocimiento del contenido de los profesores puede afectar su estilo de enseñanza y también cómo seleccionan el material para enseñar, como estructuran los cursos y cómo desarrollan los procesos de enseñanza.

De acuerdo con Schwab (1978), señalan que las *estructuras sustantivas de una disciplina* incluyen los marcos exploratorios o paradigmas que son usados tanto para guiar la investigación en el campo como para dar sentido a los datos. A este respecto señalan que las disciplinas académicas no constan simplemente de conceptos y estructuras organizadas, ya que el conocimiento disciplinar también incluye el conocimiento de las formas en las que el nuevo conocimiento es introducido en el campo, es decir el *conocimiento de las estructuras sintácticas*, los cánones de evidencia que son usados por los miembros de la comunidad disciplinaria para guiar la investigación en el campo.

Los autores incluyen las *creencias de los profesores acerca de la materia* dentro del conocimiento disciplinar, señalando que tales creencias afectan poderosamente sus acciones de enseñanza, en tanto influyen en lo que eligen enseñar como en cómo eligen enseñarlo. Y si bien reconocen que la distinción entre conocimiento y creencias es confusa, señalan que eligen separar las creencias sobre la materia de enseñanza del conocimiento sobre la materia para acentuar la importancia de considerar las creencias y el conocimiento previo de los profesores en el entendimiento de cómo se conducen en las clases.

Teniendo en cuenta la propuesta de Grossman et al. (1989), así como investigaciones más recientes en el campo de la Didáctica de las Ciencias, a continuación, presentamos las definiciones de las categorías que consideramos constituyentes del Conocimiento sobre la Disciplina en esta investigación.

### **2.1.3.3 Componentes del Conocimiento sobre la Disciplina en esta investigación**

Atendiendo a investigaciones recientes en el campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales (Acevedo et al., 2002; Ball, Thames y Phelps, 2008; Ball y Bass, 2003), hemos replanteado los dominios o componentes del Conocimiento Disciplinar de los profesores presentados por Grossman et al. (1989), de manera tal que en esta investigación consideramos como componentes del Conocimiento sobre la Disciplina los siguientes: **el conocimiento sobre la Naturaleza de la Ciencia** y **las creencias sobre la disciplina**.

Teniendo en cuenta, además, que, en esta investigación consideramos la Biotecnología una tecnociencia (tal y como desarrollaremos en el apartado sobre referentes epistemológicos de la Biotecnología), consideramos entonces que los componentes del Conocimiento sobre la Disciplina del profesor que enseña Biotecnología son los siguientes: el conocimiento sobre la Naturaleza de la Biotecnología y las creencias sobre la Biotecnología, los cuales presentaremos, a medida que ampliamos los dos componentes del Conocimiento sobre la Disciplina contemplados en esta investigación.

Vale la pena señalar aquí, que, en el apartado relacionado con los referentes epistemológicos de la Biotecnología, desarrollaremos ampliamente nuestra posición respecto a la epistemología de la Biotecnología.

#### **2.1.3.3.1 Conocimiento sobre la Naturaleza de la Ciencia**

El concepto *Naturaleza de la Ciencia* ha sido abordado por diferentes autores, así, para Lederman (1992, p. 331) corresponde a “los valores y supuestos inherentes al desarrollo del conocimiento

científico” y para Rydler (1999) “se refiere a la comprensión acerca de las prácticas sociales y la organización de la Ciencia. A la forma como los científicos obtienen, interpretan y utilizan los datos para realizar sus investigaciones”. De acuerdo con Irwin (2000) la Naturaleza de la Ciencia incluye los siguientes aspectos de la Ciencia: Historia, Filosofía, Sociología, principales problemas, características que la identifican, producción, estatus, forma como se estructura, propósitos y aspectos socioculturales. Alonso, Manassero, Acevedo y Acevedo (2007) señalan por su parte, que en la concepción de la Naturaleza de la Ciencia es necesario incluir los aspectos sociales del sistema tecnocientífico, además de consideraciones sociológicas.

Hodson (2014) señala que, en la Didáctica de las Ciencias, el campo de investigación acerca de la Naturaleza de la Ciencia se denomina así debido a que toma el nombre del objeto sobre el que reflexiona teórica y críticamente, reflexión que se ha constituido en un componente emergente de los nuevos currículos de ciencias para todos los niveles educativos, desde el inicial hasta el universitario (p. 7). Para el autor, este componente curricular tiene un carácter *metadiscursivo*, *metateórico* o *metacientífico*, es decir, “de segundo orden”, conformado por un conjunto de estudios específicos sobre la naturaleza o esencia profunda del conocimiento científico (ciencia como *producto*) y de la actividad científica (ciencia como *proceso*), elaborados desde distintas perspectivas de análisis: estructura, estatuto y validez, funcionamiento, génesis, evolución, alcances y limitaciones, relaciones con la sociedad y la cultura, etc. (p. 911 – 912).

A este respecto vale la pena señalar que el conocimiento sobre la Naturaleza de la Ciencia es un referente importante dentro del campo de la Didáctica de las Ciencias, tanto que constituye una clara línea de investigación que hoy en día se enfoca entre otras cuestiones en la propuesta y análisis de programas y estrategias curriculares para la enseñanza de las Ciencias, con las consecuentes formulaciones de alternativas para su mejoramiento (Valbuena, 2007).

Teniendo en cuenta el planteamiento de Adúriz – Bravo (2005), para quien la Naturaleza de la Ciencia hace referencia a qué es la Ciencia y cómo se elabora, qué características la diferencian de otras producciones y emprendimientos humanos, cómo cambia en el tiempo y cómo influencia y es influenciada por la sociedad y la cultura, en esta investigación consideramos el componente Conocimiento sobre la Naturaleza de la Ciencia como Conocimiento sobre la Naturaleza de la Biotecnología.

En este orden de ideas planteamos tres subcategorías a partir de tres aspectos relacionados con tres miradas teóricas posibles cuando se reflexiona sobre la Ciencia: qué es (aspecto epistemológico), cómo cambia (aspecto histórico) y cómo se relaciona con la sociedad (aspecto sociológico) (Adúriz-Bravo, 2005, p. 9), los cuales consideramos constituyen tres subcategorías de análisis dentro de la categoría de Naturaleza de la Biotecnología y definimos a continuación:

- **Aspecto epistemológico de la Biotecnología:** Constituido a su vez por el conocimiento de los profesores sobre:
  - La definición, el estatus epistemológico y el objeto de estudio de la Biotecnología
  - La estructura sustantiva de la Biotecnología, es decir el conocimiento acerca de los conceptos básicos de la Biotecnología, su finalidad, su organización discursiva y su perspectiva interdisciplinar.
  - La estructura sintáctica de la Biotecnología, es decir el conocimiento acerca de la validación del conocimiento biotecnológico y sus condiciones de producción.
- **Aspecto histórico de la Biotecnología:** El conocimiento de los profesores sobre la historia de la Biotecnología, incluyendo los acuerdos, desacuerdos y controversias que conforman los eventos y acontecimientos de la tradición histórica del conocimiento biotecnológico.
- **Aspecto sociológico de la Biotecnología:** El conocimiento acerca de las relaciones sociales entre la Biotecnología y los otros sistemas de la sociedad en general, así como de las relaciones sociales que se generan alrededor de la producción del conocimiento biotecnológico.

#### **2.1.3.3.2 Creencias sobre la disciplina**

Así como Grossman et al. (1989), Marcelo (2002) afirma que los profesores no solo desarrollamos conocimientos y creencias acerca de la enseñanza de los alumnos, la escuela o el profesor, sino que también tenemos creencias acerca de la materia que enseñamos, lo cual afecta el cómo la enseñamos. Por su parte Friedrichsen (2015) manifiesta que las creencias de los profesores son resistentes al cambio y juegan un papel significativo en el desarrollo de su PCK, por lo que de acuerdo con Gess-Newsome (2015) son incluidas en el modelo del TPK & S discutido previamente como amplificadores o filtros de la práctica en el aula.

Teniendo en cuenta lo anterior, y dado que en esta investigación consideramos las creencias sobre la disciplina como parte de los componentes que integran el Conocimiento sobre la Disciplina, a continuación, ampliamos algunos referentes teóricos respecto a la definición de creencias, a la distinción entre creencias y conocimiento y a las consideraciones que utilizamos en la conceptualización y análisis de las creencias sobre la disciplina de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

En este sentido cabe señalar que distintos autores se han referido a las creencias de los profesores como parte de los conocimientos que conforman su conocimiento profesional, tal es el caso de las posturas de Porlán y Rivero (1998), Magnusson, Krajcik y Borko (1999), Perafán (2002), Marcelo (2002) y Park y Oliver (2008), entre otras.

De esta manera, Perafán (2002) señala que los docentes mantienen un cierto tipo de conocimiento proposicional, un conjunto de teorías y creencias implícitas y explícitas que mediatizan su acción en el aula (p. 22); Pajares (1992) sostiene que las creencias de los profesores influyen sobre sus percepciones y juicios, los cuales afectan su comportamiento en el aula (p. 307) y; Marcelo (2002) afirma que los profesores tenemos creencias acerca de la materia que pretendemos enseñar, lo que afecta el cómo la enseñamos.

Si nos referimos entonces a aquellos profesores que están asumiendo la enseñanza de la Biotecnología, podemos establecer que las creencias que ellos tienen acerca de la misma, hacen parte de su conocimiento sobre la disciplina y, por tanto, de su conocimiento profesional. En este sentido, a continuación, ampliamos algunos referentes teóricos que nos permiten tomar un posicionamiento respecto a la conceptualización y análisis de las creencias de los profesores sobre la disciplina de enseñanza, en nuestro caso, de los profesores que enseñan Biotecnología.

#### **2.1.3.3.2.1 Definiendo las creencias**

Filósofos, psicólogos, antropólogos, sociólogos e investigadores en campos como la educación, la teoría organizacional y los negocios, se han preocupado por el asunto de las creencias (Richardson, 2003). Las cuestiones epistemológicas acerca de su naturaleza han conducido a controversias y a su vez a una amplia variedad de definiciones. Así, y de acuerdo con Pajares (1992) la dificultad para estudiar las creencias de los profesores se debe entre otras cosas a problemas con su conceptualización y a la confusión con otros términos, utilizados en la literatura al hablar de las creencias, entre ellos, actitudes, valores, juicios, axiomas, opiniones, ideologías, percepciones, concepciones, sistemas conceptuales, preconcepciones, disposiciones, teorías implícitas, teorías explícitas, teorías personales, procesos mentales internos, estrategias mentales, principios prácticos y perspectivas; por lo que *“dar una definición de creencias es, en el mejor de los casos, un juego de elección del jugador”* (p.309).

En este orden de ideas, algunas de las definiciones que encontramos en la literatura y con las que nos identificamos son:

*“Una creencia es una representación individual de la realidad que tiene suficiente validez, verdad o credibilidad para guiar el pensamiento y el comportamiento”* (Harvey, 1986).

*“Las creencias son construcciones personales, proposiciones consideradas como ciertas por el individuo... se basan en el juicio y la evaluación personales”* (Pajares, 1992).

*“Las creencias se caracterizan por ser tanto evidentes, como no-evidentes, estáticas, delimitadas por las emociones y desarrolladas episódicamente”* (Gess – Newsome, 1999) y,



“Las creencias son representaciones cognitivas dinámicas compuestas de premisas y proposiciones que pueden no estar estructuradas lógicamente, pero que son consideradas como ciertas y orientan las acciones de una persona” (Richardson, 2003).

Teniendo en cuenta que nuestro marco teórico de referencia es el conocimiento profesional del profesor, en lo que sigue nos detendremos en la distinción entre conocimiento y creencias, distinción que según Pajares (1992) ha ocupado el interés de varios investigadores.

### **2.1.3.3.2 Sobre la distinción entre creencias y conocimiento**

Si bien los límites entre el conocimiento y la creencia, permanecen hoy día sin resolver (Southernland, Sinatra y Matthews, 2001; Richardson, 2003; Latorre y Blanco, 2007), intentaremos brevemente precisar algunas posiciones al respecto.

En la década de los setenta, Abelson (1979) señala que aunque la distinción entre creencias y conocimientos no es absoluta, existen diferencias en ciertos aspectos: el conocimiento tiene un carácter más objetivo que el de las creencias, pues éstas dependen en gran medida de componentes evaluadores y afectivos; el conocimiento es consensuado por cierto grupo de seres humanos, las creencias no siempre son fruto de un consenso; los conocimientos responden a unos criterios de verdad, las creencias pueden poseerse con un grado variable de certeza y; los sistemas de creencias son proclives a incluir gran cantidad de material episódico (p. 356 – 360).

Más adelante, Nespor (1987) sostiene que las creencias tienen un componente afectivo y otro evaluativo, por lo que determinan fuertemente el comportamiento, señalando que el afecto generalmente opera independientemente de la cognición asociada con el conocimiento. El autor se refiere también a la naturaleza episódica de las creencias, indicando que la información del sistema de conocimiento se almacena semánticamente, mientras que las creencias residen en la memoria episódica junto a material extraído de la experiencia o de las fuentes culturales de transmisión de conocimiento.

Nespor (1987) argumentó también que los sistemas de creencias, a diferencia de los sistemas de conocimiento, no requieren un consenso general o grupal con respecto a su validez. Las creencias individuales ni siquiera requieren consistencia interna dentro del sistema de creencias, esta situación implica que los sistemas de creencias son, por su propia naturaleza, menos discutibles, más inflexibles y menos dinámicos que los sistemas de conocimiento; los sistemas de conocimiento por su parte están abiertos a evaluación y examen crítico (p. 321), por lo que las creencias son mucho más influyentes que el conocimiento para determinar cómo los individuos organizan y definen las tareas y los problemas y son mejores predictores del comportamiento.

Por su parte, Pajares (1992) considera que las creencias son construcciones mentales basadas en experiencias previas, las cuales determinan su construcción. El autor, en concordancia con Rokeach (1968) señaló además que las creencias no pueden ser directamente observadas o medidas, por tanto, se deben inferir de lo que las personas dicen, pretenden y hacen.

Richardson (2003) señala que las creencias son proposiciones que son aceptadas como verdaderas por el individuo que sostiene la creencia sin requerir una garantía epistémica, mientras que el conocimiento es aceptado como verdadero porque es reconocido como un conjunto de proposiciones justificadas por una comunidad de expertos. El autor indica además que las fuentes principales de las creencias de un profesor son la experiencia personal, la experiencia con la práctica de enseñanza y la experiencia con el objeto de enseñanza, con lo que reafirmamos nuestra intención de conocer cómo las creencias sobre la Biotecnología de los profesores estudiados en la investigación pueden influenciar sus prácticas de enseñanza.

### **2.1.3.3.2.3 Creencias y sistemas de creencias**

De acuerdo con Pajares (1992), cuando los investigadores hablan de las creencias de los profesores, rara vez se refieren al sistema más amplio y general de creencias, del cual las creencias individuales son solo una parte, por lo que es importante hacer la distinción.

Rokeach (1968), quien por primera vez introduce el término sistema de creencias, lo define como un marco que permite a las personas entender el mundo y a sí mismos.

Dentro de su conceptualización señala que las creencias tienen un *componente cognitivo*, representado por el conocimiento, un *componente afectivo*, capaz de despertar emociones y un *componente conductual*, que se activa cuando se requiere acción.

Un sistema de creencias por su parte, es “una organización psicológica no necesariamente lógica de todas y cada una de las innumerables creencias de una persona sobre la realidad física y social” (Rokeach, 1968, p. 2).

A este respecto Abelson (1979) plantea que el componente cognitivo de las creencias está constituido por elementos como conceptos, proposiciones, reglas, percepciones, etc., que no son consensuales, señalando que la cuestión del consenso en un sistema de creencias es “consciente” en cierto modo, es decir, un individuo puede reconocer que los demás tienen creencias diferentes respecto a un mismo objeto o situación. La evaluación cognitiva que ejercen las creencias se basa en las categorías conceptuales de “bueno” o “malo”, las cuales ejercen una fuerte influencia organizadora en otros conceptos dentro del sistema y generan una red de conexiones muy densa que lleva a la percepción de riesgos y ventajas del objeto o situación, así como las percepciones de aceptación o rechazo. La evaluación afectiva de las creencias implica los sentimientos y las emociones positivas y negativas hacia diferentes aspectos del objeto o

situación. Tanto la evaluación cognitiva, como la evaluación afectiva pueden afectar los niveles de gusto, miedo, ira y ansiedad del individuo y motivar la intención de un comportamiento.

El análisis de Rokeach (1968) respecto a los sistemas de creencias incluye tres supuestos: las creencias difieren en intensidad y poder; las creencias varían a lo largo de una dimensión central-periférica y; cuanto más central sea una creencia, más resistirá al cambio, lo que explica al comparar un sistema de creencias con la estructura de un átomo, de forma que, así como el núcleo mantiene unidas las diversas partículas en un sistema estable, de la misma manera, algunas creencias (las creencias centrales) forman el núcleo del sistema en una dimensión central-periférica y son por tanto más importantes y resistentes al cambio.

El autor define la centralidad en términos de conexión: “cuanto más una creencia dada está conectada funcionalmente o en comunicación con otras creencias, más implicaciones y consecuencias tiene para otras creencias y, por lo tanto, más central es” (Rokeach, 1968, p. 5) y propone cuatro supuestos para las conexiones entre creencias: las creencias que tocan la identidad o el yo de un individuo están más conectadas, al igual que las creencias que uno comparte con los demás; las creencias derivadas se aprenden de otros; las creencias no derivadas se aprenden mediante el encuentro directo con el objeto de la creencia, éstas tienen conexiones más funcionales, en parte porque el fenómeno “lo vi con mis propios ojos” es existencial y está conectado con el sentido de sí mismo y; existen creencias que son cuestiones de gusto, éstas son arbitrarias, menos centrales y tienen menos conexiones con otras creencias.

De manera general, el sistema de creencias de Rokeach (1968) es un modelo conceptual con una premisa simple: los seres humanos tienen creencias de diferente intensidad entre las que se establecen conexiones complejas que pueden predisponer a la acción. Sin embargo, dicha conceptualización se complejiza en la medida que el autor señala que cuando los grupos<sup>3</sup> de creencias se organizan en torno a un objeto o situación y predisponen a la persona para la acción, esta organización holística se convierte en una **actitud**. Adicionalmente y según el autor, las creencias también pueden convertirse en **valores**, que albergan las funciones evaluativas, comparativas y de juicio de las creencias y reemplazan la predisposición por un imperativo para la acción. Las creencias hacen parte así de las actitudes de un individuo, al mismo tiempo que, las actitudes y los valores conforman su **sistema de creencias**.

De acuerdo con el autor, las creencias dentro de una actitud tienen conexiones entre sí pero también con otras creencias en otras actitudes, por lo que la actitud global de un individuo sobre un tema en particular puede incluir creencias relacionadas con distintas actitudes. Estas

---

<sup>3</sup> Clusters en el original

conexiones determinan la manera cómo se interpreta la información y se desarrolla el comportamiento.

Es entonces la naturaleza de contexto de las creencias y sus conexiones con otras creencias lo que las hace especialmente difíciles de inferir y medir. La comprensión de las creencias, advirtió Rokeach (1968), requiere hacer inferencias sobre los estados subyacentes de las personas, inferencias difíciles de realizar porque las personas a menudo no pueden o no quieren, por muchas razones, representar sus creencias con precisión, de manera que, las creencias no pueden observarse ni medirse directamente, sino que deben inferirse de lo que las personas dicen, pretenden y hacen.

#### **2.1.3.3.2.4 Creencias y sistema de creencias en esta investigación**

Atendiendo al marco de referencia previamente presentado, en este trabajo entendemos que las creencias de los profesores que enseñan Biotecnología acerca de la Biotecnología influyen sus acciones de enseñanza en el aula y hacen parte de su Conocimiento sobre la Biotecnología.

A continuación, presentamos y definimos las subcategorías que hacen parte del componente del Conocimiento sobre la Disciplina denominado creencias sobre la Biotecnología:

- **Fuente de la creencia:** Se corresponde con la naturaleza episódica de las creencias. La fuente de esos episodios relacionados con la Biotecnología puede ser una experiencia personal, la cultura, la experiencia con la enseñanza, entre otras.
- **Componente cognitivo:** Constituido a su vez por:
  - **Elementos cognitivos de la creencia:** conceptos, proposiciones, reglas, percepciones, expectativas, etc., asociados a la Biotecnología, que se puede inferir, no son completamente consensuales.
  - **Evaluación cognitiva de la creencia:** percepción de riesgos y ventajas de la Biotecnología y/o sus aplicaciones, procesos, productos, etc., así como las percepciones de aceptación o rechazo al respecto.
- **Componente afectivo:** sentimientos y emociones positivas y negativas hacia diferentes aspectos de la Biotecnología.
- **Intención de acción:** Acciones o intenciones de acción expresados por los profesores con relación a situaciones que tienen que ver con la Biotecnología.

## **2.2 REFERENTES EPISTEMOLÓGICOS ACERCA DE LA BIOTECNOLOGÍA**

Un segundo componente conceptual dentro de nuestra investigación corresponde a la Biotecnología, así, inicialmente ponemos en evidencia la amplia variedad de definiciones que se pueden encontrar en la literatura y la ambigüedad alrededor de su estatus epistemológico, para luego identificarla, a través del análisis de las relaciones entre ciencia y tecnología (Acevedo, 2006b) como una tecnociencia y, describir las características de su estructura sustantiva y sintáctica; hacemos además una aproximación al desarrollo actual de la Biotecnología en Colombia, destacando sus aplicaciones en el sector de la agricultura y las normas y leyes que regulan tanto la investigación biotecnológica como el acceso a los recursos genéticos en el país.

### **2.2.1 Consideraciones epistemológicas respecto de la Biotecnología**

De acuerdo con Trevan, Boffey, Goulding y Stanbury (1990), el uso del término Biotecnología se extiende desde mediados de la década de los años 70 como resultado del gran potencial de la aplicación de las técnicas emergentes de la Biología Molecular. A partir de entonces la definición de la Biotecnología ha sido abordada desde diferentes perspectivas, siguiendo intereses tanto académicos, como políticos, económicos y filosóficos, entre otros; por lo que hoy en día podemos decir que no existe una única definición de Biotecnología.

A este respecto, una revisión previa de la literatura, nos deja ver que no hay un consenso en cuanto al concepto y la categorización de la Biotecnología en la literatura, sino que éste término está relacionado más con sus usos y aplicaciones que con el desarrollo de nuevo conocimiento científico (Espinel y Valbuena, 2018).

Para Trevan et al. (1990), la Biotecnología no existe como una disciplina científica ni es un campo interdisciplinar emergente, es más bien multidisciplinar, abarcando una amplia variedad de áreas distintas. Según los autores, la Biotecnología es una tecnología moderna, cuyo interés actual se ha estimulado por el potencial que puede derivarse de la unión entre procesos y métodos biológicos (algunos antiguos, otros nuevos) y las técnicas de distintas ingenierías. Los frutos de la Biotecnología han nacido en un árbol cuyas raíces son las ciencias biológicas, en particular la Microbiología, la Genética, la Biología Molecular y la Bioquímica y sus ramas la Ingeniería Química y la informática en su sentido más amplio. De esta manera notamos que, desde su misma naturaleza, la Biotecnología es ambigua, y quizá ésta sea una de sus principales características.

En los siguientes apartados, presentamos nuestra revisión respecto de la epistemología de la Biotecnología, en aras de establecer su estatus epistemológico, y a partir de allí caracterizar sus

estructuras sustantiva y sintáctica, referentes conceptuales desde los cuales realizaremos el planteamiento de los instrumentos de recolección de datos de la investigación.

### **2.2.1.1 Qué significa Biotecnología: Un poco de historia**

A pesar de la simplicidad que rodea a la palabra Biotecnología (derivada del griego *bio* que significa vida y del *téchne*, también de origen griego, que significa conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento del conocimiento científico) (Hernández, 2010), es difícil encontrar un consenso en la definición de la misma.

De acuerdo con diferentes autores, la palabra Biotecnología fue usada por primera vez en 1919, por el ingeniero agrónomo húngaro Karl Ereky (Verma, Agrahari, Rastogi, Singh, 2011; Muñoz de Malajovich, 2012), quien al desarrollar un gigantesco plan de cría de porcinos la definió como la ciencia de los métodos que permiten la obtención de productos a partir de materia prima, mediante la intervención de organismos vivos (Muñoz de Malajovich, 2012).

Esta definición inicial nos permite evidenciar que los inicios de la Biotecnología se remontan entonces a los comienzos de la humanidad (Fitzsimons, 2007; Muñoz de Malajovich, 2012), ya que actividades como la preparación del pan, de bebidas alcohólicas, de queso y de yogur (que implican el uso de bacterias y levaduras), así como el mejoramiento de cultivos y de animales domésticos (a través de cruces y selecciones hechas por generaciones de ganaderos) fueron fundamentales para que el hombre, aunque no comprendiera los procesos biológicos implicados (Ocelli, 2013a), sustituyera su estado de cazador, recolector y nómada, por el de agricultor, ganadero y sedentario.

Mucho tiempo después, con los avances científicos y tecnológicos del siglo XIX, se lograría comprender y aplicar en procesos industriales los principios de la fermentación, de la producción de vacunas y de antibióticos, dando solución a problemas importantes relacionados tanto con la alimentación como con la salud. Así, con el trabajo de Pasteur, al demostrar en 1862, que el proceso de la fermentación no era exclusivamente químico sino que requería la intervención de microorganismos vivos, nacería la Microbiología y con el trabajo de Büchner, quien en 1897 descubriera que la fermentación alcohólica podía ser provocada por extractos de levadura exentos de células y al mismo tiempo extrajera las enzimas que catalizaban dicha fermentación, no solo se daría inicio a la Bioquímica (al intentar explicar la estructura química y especificidad de dichas enzimas), sino que la industria mejoraría la producción de alimentos y bebidas, y empezaría a fabricar alcohol y acetona mediante procesos de fermentación (Buchholz y Collins, 2013).

El descubrimiento de la penicilina por Fleming en 1928 marcaría el inicio de la producción de antibióticos, pero sería solo durante la Segunda Guerra Mundial cuando el antibiótico despertaría el interés de los investigadores estadounidenses que intentaban combatir la medicina militar alemana que ya disponía de las sulfamidas para contrarrestar las infecciones de los soldados heridos en combate. Así, los químicos Ernst Boris Chain y Howard Walter Florey, retomaron el descubrimiento de Fleming, logran aislar la penicilina y con la ayuda de los fondos del gobierno norteamericano, comienzan a producir cristales de esta sustancia en cantidades importantes (Verma et al., 2011). De esta manera, los requerimientos de penicilina y las grandes inversiones en su producción conducirían al descubrimiento de nuevos antibióticos como actinomicina, estreptotricina y estreptomycin. Durante esa misma época nuevos productos con alto valor agregado, principalmente metabolitos secundarios como los esteroides, se obtendrían a partir de microorganismos (Buchholz y Collins, 2013).

Para la década de 1950, la Biotecnología sería aceptada como una especialidad en los departamentos de Ciencias de la Vida de varias universidades y la producción a gran escala, no solo de productos tradicionales como la cerveza, el alcohol y el queso, sino también de nuevos productos, como el ácido cítrico, aminoácidos, vitaminas, enzimas, carbohidratos, productos farmacéuticos y otros de alta relevancia social y económica estaría bien establecida (Demain, 2001).

Sin embargo, hablar hoy de Biotecnología ya no remite solamente a procesos ligados a la producción de alimentos, bebidas, vacunas y antibióticos; con la descripción del modelo de la doble hélice del ADN en 1953, basada en los datos cristalográficos de Rosalind Franklin, se entenderían varios fenómenos relacionados con la replicación de ésta macromolécula y su papel en la herencia (Verma et al., 2011). Éste y muchos más acontecimientos científicos, unidos al progreso tecnológico, sentarían las bases de lo que actualmente conocemos como Biotecnología moderna, entre ellos la aparición de la tecnología del ADN recombinante en 1972, cuando Berg, Cohen y Boyern construyeron los primeros plásmidos y virus recombinantes que, al ser introducidos dentro de bacterias, o células animales, respectivamente, se podían propagar autónomamente (Buchholz y Collins, 2013). A partir de este momento, en el que es posible cambiar el programa genético de un organismo transfiriéndole genes de otra especie, se da el paso de la Biotecnología tradicional a la Biotecnología moderna (Muñoz de Malajovich, 2012). Estos nuevos conocimientos permitirían modificar de forma selectiva la actividad de los organismos vivos y adquirirían una utilidad práctica en diversos sectores (Duque, 2010).

Es así como a partir de los años 1970 y 1980, el surgimiento de las nuevas técnicas biotecnológicas llama la atención de los gobiernos de Alemania, Reino Unido, Japón, EE.UU., y otros como un campo de innovación y potencial de crecimiento económico, lo que llevaría a su expansión. La

investigación básica en Bioquímica y Biología Molecular por su parte, ampliarían considerablemente el conocimiento en el campo de las ciencias de la vida, con lo cual la esfera de productos y servicios accesibles se expandiría significativamente. La acelerada investigación, impulsada y financiada por la empresa privada, traería consigo el desarrollo de nuevos métodos, herramientas y equipos y la fundación de nuevas empresas biotecnológicas (Buchholz y Collins, 2013).

La aparición de más empresas biotecnológicas y junto con ellas, de nuevas técnicas (vectores de clonación, enzimas de restricción, transformación artificial de células procariotas y eucariotas, bibliotecas de genes, sondas moleculares, secuenciación, PCR, etc.), harían plausible, hacia mediados de la década de los años 80 el planteamiento de un proyecto coordinado de caracterización detallada del genoma humano (PGH) y de genomas de una serie de organismos modelo, justificado en la posibilidad de afrontar sistemáticamente la evaluación del efecto de las radiaciones sobre el material hereditario.

El PGH fue un programa de investigación y colaboración internacional en el que participaron distintas instituciones y organismos, entre ellas, el Instituto Nacional de Salud (NIH), de Estados Unidos, que en 1989 creó, el Instituto Nacional de Investigación del Genoma Humano (NHGRI), además de numerosas universidades y centros de investigación de los EE.UU, Reino Unido, Francia, Alemania, Japón y China, entre otros. El proyecto se puso oficialmente en marcha el 1 de octubre de 1990 y en junio de 2000 el Consorcio Internacional para la Secuenciación del Genoma Humano anunció que la mayor parte del genoma humano había sido secuenciado cuando publicó el primer borrador del genoma en la revista *Nature* en febrero de 2001 (Lardone, 2009).

Pero esto fue sólo el final del principio, con la determinación de la secuencia nucleotídica del genoma humano y la de otros muchos organismos, la humanidad se adentraría, de manera profunda y novedosa en el conocimiento de la célula y del organismo vivo. Así, en los albores del siglo XXI nos encontramos ante un escenario extraordinario en cuanto a las posibilidades existentes para el diseño y desarrollo de organismos modificados genéticamente (microorganismos, plantas y animales), con nuevas propiedades y también en cuanto a la manipulación y orientación de la maquinaria celular en procesos específicos para la producción de moléculas de interés social y comercial, como alimentos, fármacos, vacunas y sustancias utilizadas en técnicas de diagnóstico (Bolívar, 2007).

Y es que para entender la presencia de la Biotecnología en la sociedad actual no hace falta más que observar los diferentes elementos que componen nuestros hábitos cotidianos. Desde lavar la ropa con detergentes desarrollados con enzimas específicas, preparar la comida con alimentos



transgénicos o controlar una enfermedad con fármacos obtenidos mediante técnicas de ADN recombinante y producidos en una empresa biotecnológica. Cabe mencionar además que el impacto de la Biotecnología moderna no se acota a los sectores agroalimentario y de salud, sino que su alcance es horizontal y sus aplicaciones llegan a sectores como el energético, el ambiental y el industrial (OEI, 2009).

Las consideraciones anteriores explican la frecuente mención de la Biotecnología como la más importante tecnología de principios del siglo XXI, así como la reorientación de grandes empresas hacia la Biotecnología como su base tecnológica fundamental (Rifkin, 2004; Bolívar, 2007) y permiten sospechar además, como veremos más adelante, que las definiciones de Biotecnología han surgido a partir de distintos referentes: científicos, industriales, económicos, políticos y sociales, entre otros, generando complejidad a la hora de establecer una única definición.

### **2.2.1.2 Definiciones de Biotecnología**

El creciente interés que en los últimos años ha despertado la Biotecnología, tanto en los medios académicos como en la actividad industrial, se ha traducido, entre otras cosas, en una variedad de definiciones. Dada su transversalidad, se pueden localizar definiciones en libros, proyectos de investigación, documentos, informes, resúmenes de congresos, simposios, etc., que pueden estar referidos a sectores específicos como la salud, la alimentación, la agricultura o la industria, entre otros, así como a plantear generalidades para enfocarse en lo ético o en su poder de mercado.

Con la intención de revisar lo que significa la Biotecnología, se presenta un análisis de varias de las definiciones encontradas en la literatura, buscando elementos comunes entre ellas, que nos permitan establecer ciertas generalizaciones.

Las definiciones presentadas son el resultado de una revisión bibliográfica en reconocidas bases de datos como REDALYC, Pubmed, Scielo y Springer Link, usando descriptores como “epistemología de la biotecnología”, “historia de la biotecnología” y “biotecnología y sociedad” tanto en español como en inglés. Durante la revisión se tuvieron en cuenta artículos del año 1990 en adelante, de publicaciones tanto científicas como de divulgación, en los que apareciera por lo menos una definición de Biotecnología.

Algunas definiciones recogidas en la bibliografía son:

“Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Naciones Unidas, 1992).

“Toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados (genéticamente modificados o no) para hacer o modificar productos o procesos para uso general” (Fitzsimons, 2007).

“Aplicación del conocimiento de los organismos vivos y sus componentes en productos y procesos industriales” (Brink, McKelvey y Smith, 2004).

“En un sentido amplio, biotecnología es “bio” + “tecnología”, es decir, el uso de procesos biológicos para resolver problemas o hacer productos útiles” (BIO, 2005).

“Uso integrado de la bioquímica, la microbiología y la ingeniería genética para poder aplicar las capacidades de microorganismos, células cultivadas animales o vegetales o parte de los mismos en la industria, en la salud y en los procesos relacionados con el medio ambiente” (Muñoz de Malajovich, 2012).

“Actividad basada en conocimientos multidisciplinarios que utiliza agentes biológicos para hacer productos útiles o resolver problemas” (Muñoz de Malajovich, 2012).

“Uso de organismos vivos/ o sus productos/para modificar o mejorar la salud y el ambiente de los humanos” (Verma et al., 2011).

“Una amplia área del conocimiento moderno que combina de manera innovadora la biología y la ingeniería en procesos que, aplicados sobre organismos vivos, sus tejidos, células o partes generan bienes, servicios o conocimientos que promueven el bienestar de la humanidad” (Hernández, 2010).

“La biotecnología, es una tecnociencia aplicada a lo vivo y que, en rigor, debería llamarse «biotecnociencia» [...] comparte la característica de no distinguir entre conocimiento y aplicación, y de llevar por ende en todas sus etapas una fuerte carga valórica. La simbiosis entre conocimiento y aplicación adquiere nuevas dimensiones si se considera que los altos costos del desarrollo tecnocientífico gatillan su traslado al ámbito de la empresa privada, lo cual implica una fuerte presencia de valores comerciales y el primado de intereses monetarios por sobre los académicos” (Roland y Kottow, 2001).

Existen además definiciones que hacen mención tanto a la Biotecnología tradicional como a la Biotecnología moderna, entre ellas:

“Es una tecnología que utiliza las propiedades de los seres vivos para producir y transformar alimentos, para obtener sustancias con actividad terapéutica para dar solución a las alteraciones del medio ambiente, entre otros. En unos casos utiliza las propiedades de los seres vivos tal como se encuentran en la naturaleza, lo que corresponde a la biotecnología antigua o clásica; en otros casos aplica, el conocimiento de las capacidades funcionales de los organismos para producir sustancias o mejorar procesos constituyendo la denominada biotecnología moderna” (Wilches, 2010).

Y una de las dos definiciones presentadas por la Oficina de Asesoría en Tecnología del Gabinete de Prensa del Gobierno de Estados Unidos (OTA), Organismo que da cuenta de una definición amplia, que engloba la Biotecnología tradicional y la moderna:

“La biotecnología, en un sentido amplio, incluye cualquier técnica que utilice organismos vivos (o partes de ellos) para crear o modificar productos, para mejorar plantas o animales, o para desarrollar microorganismos para usos específicos” (OTA, 1998).

Y otra, más restringida, que se aplica especialmente a la biotecnología moderna:

“La biotecnología es la industria que utiliza ADN recombinante, fusión celular y nuevas técnicas de bioprocesos” (OTA, 1991).

La OCDE, por su parte, atendiendo al propósito de establecer comparaciones estadísticas en Biotecnología entre distintos países, ha venido desarrollando desde 2001 un proyecto para consolidar una definición de Biotecnología (Biotech, 2005). Su más reciente definición se encuentra en la publicación *A Framework for Biotechnology Statistics* del 2005, en la cual se define la Biotecnología como:

“La aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a parte de ellos, productos y modelos, para alterar material vivo y no vivo, para la producción de conocimiento, bienes y servicios, teniendo como base, técnicas de ADN, ARN, genómica, proteómica, ingeniería de células y cultivo de tejidos, procesos biotecnológicos, vectores ARN y genes y bioinformática” (OECD, 2005).

De esta forma, la OCDE busca dar cuenta de la Biotecnología a partir de la combinación de una definición, deliberadamente amplia, que abarca a toda la Biotecnología moderna pero también

incluye algunas actividades tradicionales y otras de frontera, pero que es acotada a partir de una lista de técnicas de la Biotecnología moderna (Biotech, 2005).

De igual manera, existen definiciones que están restringidas explícitamente a la Biotecnología moderna, como la del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, en la que se aclara:

Por "biotecnología moderna" se entiende la aplicación de:

- a. Técnicas *in vitro* de ácido nucleico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o
- b. La fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000).

Como podemos notar, el amplio número de definiciones abarca tanto aquellas que son demasiado simplificadas, aquellas que son demasiado amplias, como aquellas que son extremadamente condicionantes, producto quizás de los diferentes intereses (académicos, políticos, económicos y filosóficos, entre otros) dentro de las cuales están enmarcadas. Por lo tanto, hoy puede decirse con certeza que no existe una única definición de Biotecnología.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que la Biotecnología afecta distintos sectores productivos, como la agricultura, la medicina, la industria farmacéutica, la industria alimenticia, el medio ambiente, entre otros, cabe mencionar que a partir del lema de la convención BIO (principal encuentro anual del sector biotecnológico mundial) de los años 2008 y 2009, *Healing, Feeding and Fueling the World* (curar, alimentar y abastecer de energía al mundo), en el informe de la Biocat del año 2009 se propone segmentar las aplicaciones de la Biotecnología de acuerdo a un código por colores de la siguiente manera: el rojo para definir la Biotecnología aplicada a la salud, el verde para la Biotecnología de impacto agroalimentario, y el blanco para aquellas aplicaciones relacionadas con la industria (Biocat, 2009).

Cabe decir además que este intento de clasificación por colores no es nuevo, simplemente es más reducido, pues ya DaSilva (2004) proponía utilizar los colores del arcoíris para clasificar las aplicaciones de la Biotecnología, con el ánimo de promover una mejor percepción pública y comprensión de las aplicaciones de la misma.

Utilizar listas de definiciones como estas, y como otras en las que la Biotecnología se separa en áreas de interés como Biotecnología Humana, Animal, de Alimentos, Industrial, Vegetal y Ambiental puede ayudar a reducir algunas de las confusiones que rodean una única definición y es útil cuando las políticas públicas se orientan a las aplicaciones y beneficios de la Biotecnología, las cuales varían con el tipo de Biotecnología en uso. También resulta útil cuando empresas grandes y diversificadas utilizan la Biotecnología en muchos sectores diferentes, dado que posibilitan identificar las mismas, y evaluar su productividad y el grado de intensidad de los usos respectivos (Biotech, 2005).

### 2.2.1.3 Ambigüedad en el estatus epistemológico de la Biotecnología

Al analizar las distintas definiciones que se encuentran en la literatura, se puede notar, en términos de su epistemología, que existen dos opciones principales: por un lado, emplear términos que le brinden un estatus epistemológico (ver tabla 1) y por otro, hacer mención de su utilidad, empleando términos como uso, aplicación, herramienta y utilización (ver tabla 2). Lo anterior refleja que no solamente no hay un consenso en cuanto al concepto y la categorización de la Biotecnología en la literatura, sino que este término está relacionado más con sus usos y aplicaciones que con el desarrollo de nuevo conocimiento científico.

<b>Estatus epistemológico</b>	<b>Autor (es)</b>
<b>Aplicación tecnológica</b>	Convenio sobre la Biodiversidad Biológica (Naciones Unidas, 1992).
	(Fitzsimons, 2007)
<b>Técnica</b>	Oficina de Evaluación Tecnológica (OTA, 1988, 1991)
<b>Conjunto de tecnologías</b>	Negrín, et al. (2007)
<b>Actividad basada en conocimientos multidisciplinares</b>	Muñoz de Malajovich (2012).
<b>Área multidisciplinaria</b>	Centro de Biotecnología Universidad de Concepción
<b>Tecnología</b>	Wilches (2010).
<b>Área de conocimiento</b>	
<b>Sinergismo multidisciplinario</b>	
<b>Tecnociencia</b>	Roland y Kottow (2001).

**Tabla 1.** Estatus epistemológico empleado en algunas definiciones de Biotecnología. Fuente: Elaboración propia.

Término referido a la utilidad		Autor (es)
<b>Aplicación</b>	de la ciencia y la tecnología a organismos vivos, así como a parte de ellos, productos y modelos	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2005)
	de conocimiento de los organismos vivos y sus componentes	Brink et al. (2004).
	a. Técnicas in vitro de ácido nucleico b. La fusión de células más allá de la familia taxonómica	Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la biotecnología (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000).
	de fenómenos biológicos	Braun y Moses (2004).
<b>Uso</b>	de la bioquímica, la microbiología y la ingeniería genética	Federación Europea de Biotecnología (EFB, 1988)
	de organismos vivos o sus productos	Verma et al. (2011).
	de procesos biológicos	Organización de la Industria Biotecnológica (BIO, 2005)
<b>Utilización</b>	de organismos, sistemas y procedimientos biológicos	Sarricolea y García-Noblejas (1998)

**Tabla 2.** Términos referidos a la utilidad empleados en algunas definiciones de Biotecnología.

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido Bud (1991), señala además que desde que se acuñó el término Biotecnología en el argot popular, se han presentado tensiones entre la Biología y la ingeniería en cuanto a su significado y representación, acudiendo cada campo a sus principios científicos y a su utilidad práctica, respectivamente, tensiones que se presentan aún hoy en día, de forma tal que la pregunta persiste: ¿es la Biotecnología una ciencia, una disciplina con su propio objeto de investigación y su propia metodología, cuya intención es obtener nuevo conocimiento, o es un conjunto de técnicas y tecnologías encaminadas a encontrar aplicaciones del conocimiento útiles para la sociedad con beneficios económicos para quienes las producen?

La pregunta anterior obliga a revisar los diferentes modelos de relaciones entre ciencia y tecnología, con la intención de establecer cómo éstas interactúan en el caso de la Biotecnología.

#### **2.2.1.4 La Biotecnología desde la perspectiva de las relaciones ciencia – tecnología**

De acuerdo con Acevedo (2006b) la tensión entre el conocimiento teórico (ciencia) y el saber hacer ligado a la práctica (técnica) ha sido permanente, aunque decantándose casi siempre a favor del primero debido al mayor estatus cultural concedido a la ciencia en los ambientes académicos. Esta imagen se ha mantenido acríticamente hasta hoy, ocultando tanto las

profundas relaciones que existen entre la tecnología y las ciencias contemporáneas como las interacciones entre la elaboración de las teorías científicas y los conocimientos producidos por las tecnologías.

En su artículo *“Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico”* el autor presenta el análisis de las relaciones entre la ciencia y la tecnología a partir de cinco modelos propuestos por Niiniluoto (1997).

1. La ciencia y la tecnología son independientes desde un punto de vista ontológico (cada una tiene su propia entidad). También son causalmente independientes o cuasi-independientes.
2. La ciencia y la tecnología tienen independencia ontológica, pero hay interacción entre ambas.
3. La tecnología se subordina a la ciencia y puede reducirse a ella; depende, pues, de la ciencia desde una perspectiva ontológica.
4. La ciencia se subordina a la tecnología y puede reducirse a ella; es decir, tiene una dependencia ontológica de la tecnología.
5. La ciencia y la tecnología son la misma cosa (tecnociencia postmoderna); esto es, no se diferencian ontológicamente (Acevedo, 2006b, p. 206).

Desde nuestro concepto, tres de estos modelos pueden aplicarse a las relaciones que se dan entre la ciencia y la tecnología en el caso de la Biotecnología.

El primero corresponde al modelo número 2, *independencia ontológica e interacción causal entre ciencia y tecnología*. De acuerdo a este modelo, aunque la ciencia y la tecnología sean dos entidades independientes, las conexiones entre ambas son muy grandes, no obstante, hay cierta tendencia a mostrar tal interacción con un exagerado sesgo favorable al sentido que va desde la ciencia a la tecnología en detrimento del opuesto.

Para Acevedo (2006b), como ejemplo de esta relación se pueden mencionar diversas innovaciones tecnológicas basadas en la ciencia, entre ellos, los desarrollos de las industrias electromagnética y de los tintes durante el último tercio del siglo XIX, el de la ingeniería nuclear con fines militares y civiles para la producción de energía eléctrica en el siglo XX, y las aplicaciones médicas e industriales de la Biología Molecular y la Ingeniería Genética (biotecnologías), que aún están en pleno desarrollo con grandes expectativas en el siglo XXI (p.207).

Para el autor es difícil encontrar hoy algún campo de conocimiento científico que no sea escrutado para determinar sus potenciales beneficios comerciales, por lo que todas las ciencias que aún no lo han hecho están en vía de dar lugar a sus correspondientes tecnologías. A la vez, en la actualidad todas las tecnologías también tienden a generar sus propias ciencias.

Esta última afirmación lleva a pensar que las relaciones entre ciencia y tecnología establecidas en el modelo número 3, según el cual *la tecnología depende ontológicamente de la ciencia*, también pueden darse en la Biotecnología. Este modelo proviene de la concepción estándar de la filosofía positivista que considera a la tecnología como ciencia aplicada (visión idealista de la tecnología); una tesis a la que algunos filósofos analíticos como Bunge (1966, 1969, citado por Acevedo, 2006b) contribuyeron, a mediados de los años 60, para dar los fundamentos de un paradigma de la filosofía de la tecnología que suele tener muy buena acogida entre los científicos y ha sido transmitido al público por famosos divulgadores de la ciencia como Isaac Asimov y Carl Sagan (Acevedo, 2006b).

La afirmación que la tecnología no es más que la aplicación de la ciencia equivale a proclamar que el desarrollo tecnológico depende jerárquicamente de la investigación científica; esto es, que el conocimiento práctico se subordina al teórico (Sanmartín, 1990). Esta forma de entender la relación de la tecnología con la ciencia subyace en el modelo de investigación y desarrollo (I+D) que ha dominado las políticas públicas de ciencia y tecnología durante gran parte del siglo XX (García-Palacios et al., 2001), y es probable que para muchos autores, así también esté concebida la Biotecnología, como la simple aplicación de distintos conocimientos originados en estudios biológicos, microbiológicos, bioquímicos, entre otros, con el fin de obtener aplicaciones útiles, tal es el caso de las definiciones presentadas por organizaciones como la Federación Europea de Biotecnología (Muñoz de Malajovich, 2012) y la Organización de la Industria Biotecnológica (BIO, 2005), mencionadas con anterioridad.

Sin embargo, hoy en día, hay quienes insisten en que ya no se puede considerar la tecnología como la aplicación práctica del conocimiento científico, siguiendo a García (2004), la tecnología puede ser considerada como el conjunto ordenado de conocimientos y sus correspondientes procesos que tienen como objetivo la producción de artefactos, bienes y servicios, teniendo en cuenta aspectos tales como la técnica, la ciencia, las relaciones económicas y políticas. Según el autor, la tecnología, no se limita a tomar prestadas sus ideas de la ciencia para dar respuesta a determinadas necesidades humanas y a algunos problemas sociales importantes, sino que, incluso, llega a configurar tales problemas y con tal fin ha desarrollado sus propios métodos sistemáticos de investigación, siendo así la tecnología una fuente importante de conocimiento también.

Ahora bien, el último modelo que consideramos puede aplicarse a la Biotecnología es el número 5, según el cual, *la ciencia y la tecnología no se diferencian ontológicamente*. Según Niiniluoto (1997), la intensificación de las relaciones entre ciencia y tecnología a través de los tiempos ha conducido a su fusión como tecnociencia en la contemporaneidad. Si bien este término postmoderno fue introducido por Latour (1987) para su uso en la metodología de los estudios



sociales sobre ciencia y tecnología, hoy está muy difundido en otros muchos ámbitos (Castaño, 2013).

De manera general, puede decirse que la tecnociencia (el complejo sistema científico-tecnológico) designa el conjunto de actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en las que ciencia y tecnología están profundamente imbricadas y se refuerzan entre sí para conseguir un beneficio mutuo, tanto en sus procedimientos como en sus resultados (Acevedo, 2006b). A este respecto, Echeverría (2010) explica que la tecnociencia propiamente dicha, se caracteriza por la hibridación entre científicos y tecnólogos, pero también por la aparición de un nuevo objetivo, la innovación, que debería contribuir a mejorar la competitividad y la productividad de las empresas en los mercados. Según el autor, “desde una perspectiva filosófica, la ciencia y la tecnociencia pueden distinguirse con base en el siguiente criterio: para los científicos la búsqueda del conocimiento es un fin en sí mismo; para los tecnocientíficos, en cambio, el conocimiento científico se convierte en un medio para generar desarrollos tecnológicos e innovaciones que acaben siendo rentables en los mercados y compensen las inversiones que las empresas hacen en I+D” (p. 143).

Así lo señalan también Alonso et al., (2007), para quienes el subsistema tecnocientífico se ha convertido en una institución social que comprende una comunidad de personas y medios técnicos, así como el conjunto de relaciones que esa comunidad y sus medios establecen entre ellos mismos y con el resto de la sociedad. Como cualquier otro grupo social, la comunidad tecnocientífica tiene sus propias características y reglas que la rigen, así como una dinámica particular que viene determinada por los objetivos de conocimiento de la empresa tecnocientífica.

Para nosotros, hoy día, la Biotecnología, puede ser considerada como una tecnociencia, pues es este modelo de relaciones entre ciencia y tecnología el que más se ajusta a lo que sucede en la biotecnología. De esta manera, teniendo en cuenta algunas de las características de la Biotecnología y de la tecnociencia expresadas por distintos autores, en el siguiente apartado, ampliaremos y explicaremos, las razones por las que de aquí en adelante consideraremos la biotecnología como una tecnociencia.

#### **2.2.1.5 La Biotecnología: Una tecnociencia**

De acuerdo con Acevedo (2006b), la tecnociencia surge en el último cuarto del siglo XX a través del impulso de algunas grandes empresas de EE.UU., habiéndose expandido luego con mucha rapidez por otros países desarrollados. Esta modalidad ha transformado profundamente la estructura de la práctica científica-tecnológica en todas sus dimensiones y también ha

incorporado nuevos valores a la actividad científica. Según Ziman (2003), una ciencia que no se limite a lo puramente instrumental debería ser: pública, universal, imaginativa, autocrítica y desinteresada. Pero, esta lista de valores se encuentra en clara oposición con el modo en que la ciencia desarrolla habitualmente las funciones que los poderes sociales le demandan en la actualidad. En efecto, la tecnociencia que se practica hoy suele producir sobre todo un conocimiento que es: patentable, particular o local, prosaico, pragmático e interesado o parcial.

Podemos pensar entonces la Biotecnología como una tecnociencia, tal y como lo plantean Roland y Kottow (2001), quienes, como ya habíamos dicho, señalan que la Biotecnología es una tecnociencia aplicada a lo vivo que tiene por característica que el conocimiento científico sirve en forma directa e inmediata al desarrollo técnico, el cual, a su vez, nutre a la ciencia con instrumentos de investigación y observación cada vez más sofisticados, señalando además que la Biotecnología, en rigor, debería llamarse “biotecnociencia” y que tiene la característica de no distinguir entre conocimiento y aplicación.

En este sentido, Castaño (2013) señala que los nuevos conocimientos científicos, como la capacidad de aislar, identificar y recombinar los genes, han permitido a las empresas biotecnológicas, obtener con fines económicos, cultivos y alimentos transgénicos a través de distintas técnicas, como la clonación y la fecundación *in vitro*, entre otras, y obtener multimillonarias ganancias en un mercado que apenas empieza a aflorar, dejando en evidencia la aplicación en términos de técnicas y productos con utilidad económica del conocimiento obtenido científicamente.

De esta manera, aunque los tres modelos mostrados anteriormente puedan parecer adecuados para entender las relaciones entre ciencia y tecnología en cuanto a la Biotecnología, quizás lo más prudente, desde nuestra opinión, sea afirmar que, en el momento actual, el modelo que más se ajusta es éste último, el modelo de la tecnociencia, que como ya se ha mencionado, también ha sido empleado por otros autores. A este respecto, ya Roa et al. (2008) manifestaban “la Biotecnología, a semejanza de otros campos de conocimiento, se encuentra en expansión y aumento en complejidad, en la medida en que crece su conocimiento y evoluciona, dejando anticuadas las acotaciones disciplinares y concepciones tradicionales sobre la ciencia. Por ello, se puede considerar cada vez más abstracto su conocimiento, por lo que se debe explorar su complejidad desde las estructuras formales actuales del conocimiento y la realidad social que le da la validez” (p. 80).

### **2.2.1.6 Estructuras sustantiva y sintáctica de la Biotecnología**

Como se mencionó líneas atrás, dentro del marco del conocimiento profesional del profesor propuesto por Shulman (1986), podemos decir que entre los conocimientos que un buen profesor de Biotecnología debe poseer para lograr una adecuada enseñanza de la misma, se encuentra el conocimiento sobre el contenido de la materia (*subject matter*), que hemos decidido denominar Conocimiento sobre la Disciplina. Partiendo de las consideraciones previas acerca del estatus epistemológico de la Biotecnología, en las páginas siguientes asumiremos la Biotecnología como una tecnociencia y de ésta manera describiremos las características de sus estructuras sustantiva y sintáctica. Tomaremos como referencia los elementos de cada estructura presentadas por Becerra y Valbuena (2014), los cuales incluyen, objeto de estudio, organización discursiva, tradición histórica, estatus epistemológico y perspectiva interdisciplinar para la estructura sustantiva y; nivel de generalización, metodología, observación y experimentación, condiciones socioculturales de la producción del conocimiento y finalidad del conocimiento para la estructura sintáctica.

#### **2.2.1.6.1 Aproximación a la estructura sustantiva de la Biotecnología**

Como hemos venido insistiendo, pensar en la estructura sustantiva de la Biotecnología obliga a pensar en la estructura sustantiva de una tecnociencia, es decir, debemos pensar en la forma en la que el conocimiento tecnocientífico es producido, sus principales autores y sus principales mecanismos de consecución.

Así, y de acuerdo con Echeverría (2010), el rasgo distintivo más característico de la práctica científica de la tecnociencia<sup>4</sup>, consiste en la estrecha colaboración entre científicos, ingenieros y técnicos. En este sentido, Tarazona (2003) explica que la investigación tecnocientífica contemporánea se produce en un vaivén entre el concepto y la aplicación, entre la teoría y la práctica. “En términos globales, en la tecnociencia las acciones científicas no son posibles sin acciones tecnológicas concomitantes, la ciencia se encuentra condicionada por la tecnología; la tecnología se ha vuelto mediática para verificar (aseverar, aceptar, corroborar), rechazar (negar, falsar) o refutar las hipótesis científicas” (p. 49).

De manera similar, Echeverría (2003), pone de manifiesto la hibridación en la investigación tecnocientífica entre las acciones de la ciencia y de la tecnología, así como la eficiencia económica a la que deben conducir dichas acciones. “Si los tecnocientíficos pretenden producir nuevo conocimiento y emprenden acciones científicas para ello (demostrar, calcular, observar, medir,

---

<sup>4</sup> y por extensión de la práctica científica de la biotecnología, de acuerdo a la consideración de posicionar la biotecnología como una tecnociencia.

experimental, etc.), dichas acciones son literalmente inviables sin apoyo tecnológico. Recíprocamente, las destrezas técnicas y las innovaciones tecnológicas han de estar estrictamente basadas en conocimiento científico, no sólo vinculadas a él, porque así se incrementa la eficiencia económica de las acciones tecnológicas. El propio diseño de los experimentos y de los proyectos de investigación científica es tecnológico, puesto que hay que enunciar previamente unos objetivos, precisar una metodología y un plan de trabajo y prever los resultados que piensan obtenerse, valorando su posible importancia y utilidad, así como las expectativas de generar innovación. Recíprocamente, las diversas acciones tecnológicas han de tener una base científica”.

Así, los autores señalan las estrechas relaciones entre producción científica y producción tecnológica de conocimiento al interior de la tecnociencia. Dichas relaciones se pueden evidenciar también en la Biotecnología. La actividad industrial biotecnológica actual se apoya en gran medida en la utilización de conocimientos producidos por avances científicos recientes. La identificación de las sustancias y proteínas codificadas por distintos genes, la posibilidad de separar esos genes y clonarlos, la identificación de metabolitos vegetales secundarios y de nuevos antibióticos, la dilucidación de la estructura, especificidad y mecanismo de reacción de diferentes enzimas, las principales rutas del metabolismo microbiano, entre otros, son conocimientos obtenidos a través de la investigación en distintas disciplinas como la Biología Molecular, la Genética, la Biología celular, la Bioquímica y la Microbiología, sin embargo, y de acuerdo con Avalos (1990), “la capacidad científica, esto es, el dominio del cuerpo básico de conocimientos que fundamenta la biotecnología, es una condición de especial importancia – aunque no suficiente – para su desarrollo” (p.15), en la Biotecnología generalmente éstos conocimientos permiten el desarrollo de nuevas técnicas, las cuales suelen ser llevadas a la escala que se requiera para obtener el producto suficiente que haga rentable la operación, esto normalmente es trabajo de ingeniería, un trabajo tecnológico.

Por esta razón puede decirse que, en la Biotecnología, el conocimiento no sólo se adquiere a través de los procesos de investigación científica llevados a cabo en distintos lugares (universidades, centros de investigación, industrias), sino que también se adquiere a través de teorías tecnológicas, las cuáles están centradas en el diseño, la construcción, el comportamiento y la evaluación de artefactos y sistemas tecnológicos (García, 2004).

En cuanto a la producción de conocimiento, Muñoz (2001) señala que en la Biotecnología hay una organización tanto de carácter interdisciplinar como multidisciplinar. Para el autor, por un lado, el proceso de producción de conocimiento en la Biotecnología es un ejercicio claramente interdisciplinar en el que interactúan y convergen varias disciplinas, pero, por otro lado, debe tenerse en cuenta que el proceso en el que se ajustan las aplicaciones de la Biotecnología tiene

una lógica multidisciplinar, en el que intervienen no sólo científicos, tecnólogos o ingenieros, sino también, abogados, contadores, profesionales del comercio, entre otros. Éste último aspecto lleva a pensar en cómo es validado el conocimiento biotecnológico, lo cual será discutido en el apartado de la estructura sintáctica de la Biotecnología, con lo que acabamos de decir, lo que queremos exponer como relevante es que no es fácil mostrar qué caracteriza éste tipo de conocimiento, ni cómo se produce, pues no se trata sólo de producción de teorías científicas o de las aplicaciones tecnológicas de éstas teorías, existe en el fondo todo un sistema de interacciones entre ciencia y tecnología así como con la sociedad (económicas, políticas, éticas, ambientalistas, entre otras) que ponen de manifiesto la complejidad que encierran las acciones de la investigación biotecnológica.

De igual manera, aparece también la dificultad para definir el objeto de estudio de la Biotecnología, así como lo que es un biotecnólogo, no solo porque la Biotecnología abarque un amplio espectro de disciplinas sino también debido a la naturaleza transitoria de la actividad exhibida por un individuo dedicado a la Biotecnología. La misma persona puede ser un biotecnólogo una semana y un bioquímico (o un microbiólogo, etc.) la próxima (Trevan et al., 1990). Ésta indefinición viene dada no solo por ésta situación, sino también por la inexistencia de un colegio profesional activo que defina y regule los usos y competencias de sus profesionales, limitándose su establecimiento social a las sociedades científicas creadas en torno a los docentes e investigadores de las áreas de Bioquímica, Biología Molecular y Biotecnología. Este carácter de profesión fronteriza, abierta a todos, y no reglamentista contribuye a crear una percepción social y política de confusión.

#### **2.2.1.6.2 Aproximación a la estructura sintáctica de la Biotecnología**

De acuerdo con la caracterización de la tecnociencia que hace Echeverría (2003) en su obra *La Revolución Tecnocientífica*, pueden notarse varios de los rasgos distintivos de la estructura sintáctica de la tecnociencia y, por ende, de la Biotecnología.

En palabras de Echeverría (2003), con la aparición principalmente en Estados Unidos de la tecnociencia propiamente dicha, a partir de 1980, surge no solo la hibridación entre científicos e ingenieros ya mencionada, sino también un nuevo objetivo, la innovación, con lo cual gracias al interés que el modelo de investigación en I+D había suscitado en el sector privado y en los mercados financieros como posible ámbito para hacer negocios, se consolidan las empresas tecnocientíficas, y con ellas el modelo “I+D+i” (Investigación + Desarrollo + innovación).

De acuerdo con el autor, la vinculación entre ciencia, tecnología y empresa en la tecnociencia se intensificó tan radicalmente que la producción de conocimiento científico y tecnológico se

convirtió en un nuevo sector económico, popularmente denominado de nuevas tecnologías. Un nuevo sector del mercado en el que compiten diversos tipos de empresas (públicas y privadas, industriales e informacionales, grandes o pequeñas) y en el que paralelamente, los laboratorios y equipos de investigación pugnan entre sí por la obtención de proyectos públicos y contratos con empresas, buscando nichos en el mercado financiero de la tecnociencia (Echeverría, 2003). Surgen así nuevas modalidades de validación, explotación y rentabilización del conocimiento: licencias de uso, franquicias, suscripciones de acceso y conexión, etc.

De esta manera podemos decir que en la tecnociencia no basta solo con producir conocimiento, sino que es preciso darlo a conocer, tanto a la hora de proponer proyectos de investigación que resulten prometedores como en el momento de presentar los resultados. La gestión y el marketing del conocimiento pasan a formar parte de las actividades de validación del conocimiento de una empresa tecnocientífica.

En este orden de ideas y siguiendo a Echeverría (2003), es importante recalcar también, que más que publicar los nuevos conocimientos obtenidos a partir de sus actividades de investigación, a las empresas de I+D+i les interesa que del desarrollo de los proyectos de investigación surjan patentes y contratos de leasing, de modo que el conocimiento resulte económicamente rentable. Lo anterior trae consigo uno de los mecanismos clave en la validación del conocimiento tecnocientífico, el logro de patentes, el cual se convierte en un criterio de evaluación en el diseño mismo de los proyectos tecnocientíficos, así como de su capacidad de innovación, es decir de transferencia de los resultados a las empresas que actúan en el mercado.

Por otro lado, cabe mencionar que junto al surgimiento de la tecnociencia también ha aparecido la política científica, mediante la cual se definen los planes nacionales de I+D y las líneas de investigación prioritarias en cada país. La tecnociencia, requiere una política científico-tecnológica explícitamente diseñada, sea ésta pública, privada o secreta (Echeverría, 2003). Así, de acuerdo con Echeverría (2010), “puesto que las convocatorias públicas de proyectos y programas están reguladas y las empresas tecnocientíficas privadas pretenden generar patentes y licencias de uso, así como gestionarlas y comercializarlas, la tecnociencia ha de adaptarse al marco legal del país donde se desarrolla, lo que trae consigo una mediación jurídica significativa [...] una empresa del sector ha de tener un gabinete jurídico experto, tanto para gestionar la propiedad del conocimiento como para atender demandas y pleitos. Para una empresa tecnocientífica, un experto en leyes que sea capaz de garantizar la propiedad del conocimiento y su explotación en los mercados mediante licencias de uso puede ser tan importante o más que un investigador de élite” (p. 149).

Para el caso de la Biotecnología, es indudable que las grandes empresas y multinacionales asociadas con el negocio de la Biotecnología, orientadas hacia la innovación y aplicación comercial, son las que han venido validando y apropiándose del conocimiento que hemos caracterizado como tecnocientífico (aunque para este caso convendría llamarlo biotecnológico), de acuerdo a sus propios intereses, principalmente económicos.

De acuerdo con Avalos (1990), la apropiación privada del conocimiento biotecnológico se está dando por la vía de una serie de arreglos institucionales que no eran frecuentes. En efecto, además de sus nexos con las universidades, la empresa privada viene haciendo uso de mecanismos que incluyen una estrecha y diversa vinculación con el sector público, lo cual es común en países que han tomado el desarrollo de la Biotecnología como una pieza clave dentro de su estrategia económica como Francia, Inglaterra y Canadá, con lo cual, además de que el Estado trata de estimular el desarrollo de la bioindustria privada, financia buena parte de la investigación básica, de la cual surgen tecnologías genéricas que de una u otra manera quedan disponibles para la empresa (p. 19). Sin embargo, el autor comenta también que, en países como Estados Unidos y Japón, el gasto destinado por la industria a la investigación biotecnológica es mucho mayor al efectuado por el sector público, lo que ha traído como consecuencia el amplio uso de patentes en aras de privatizar el nuevo conocimiento, generando así una amplia variedad de debates al respecto.

Desde la perspectiva ética, la controversia gira alrededor de la posibilidad de ejercer el derecho de propiedad privada sobre la vida, pues esto es lo que se hace con las técnicas de manipulación genética. En el terreno jurídico, la polémica más importante se plantea entre aquellos que sostienen que, de la actividad biotecnológica resultan descubrimientos (algo que ya existía en la naturaleza), los cuales no pueden patentarse; y aquellos que, por el contrario, argumentan que se trata de invenciones (creaciones que no existían), las que sí pueden serlo. Lo anterior ha traído como consecuencia la realización de modificaciones en el sistema legal de muchos países con respecto a la protección de los resultados obtenidos por la Biotecnología y a la firma de diferentes tratados y convenios entre los cuales cabe mencionar el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas firmado en 1992.

Todo lo anterior reitera la complejidad al hablar de la estructura disciplinar de una tecnociencia como la Biotecnología, tanto en lo que se refiere a su estructura sustantiva como a su estructura sintáctica, sin embargo, debemos reconocer que aunque no es fácil de analizar, la Biotecnología tiene hoy en día un fuerte impacto en nuestra cotidianidad, ya sea directamente, porque estamos consumiendo productos de la Biotecnología moderna, bien sea como parte de nuestra dieta, como en el caso de los alimentos genéticamente modificados o al consumir medicamentos biotecnológicos o, indirectamente al hacer uso de distintas técnicas que hacen parte de la

medicina y la farmacología actual o al escuchar noticias y debates sobre temas relacionados como la clonación o la reproducción de células madre y sus usos en medicina y en tratamientos cosméticos.

## **2.3 GENERALIDADES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN COLOMBIA**

Con la intención de contextualizar el desarrollo actual de la Biotecnología en Colombia, en este apartado presentaremos una aproximación al avance de la investigación biotecnológica en nuestro país, poniendo especial atención al sector de la agricultura y a las normas y leyes que regulan tanto la investigación en Biotecnología como el acceso a los recursos genéticos. Durante el desarrollo del apartado mencionaremos también algunos de los productos biotecnológicos que se están obteniendo y que ya se encuentran en el mercado, con el objeto final de mostrar las relaciones dinámicas que existen entre éste subsistema tecnocientífico y los distintos subsistemas de nuestra sociedad como el económico, el político, el legal y el educativo.

### **2.3.1 Aproximación al desarrollo de la Biotecnología en Colombia**

Colombia ha experimentado grandes avances en el uso de las técnicas biotecnológicas en la investigación que se desarrolla en varios sectores de producción. De acuerdo con Forero (2011) durante la década de los 90 del siglo pasado, la investigación en Biotecnología, se concentraba en las universidades y los institutos de investigación, con un bajo nivel de competitividad, ya que no era incorporada al sector productivo, pero a partir de 1997, con la ayuda de aportes otorgados por Colciencias, la investigación biotecnológica se enfocó en la disminución de las pérdidas agrícolas ocasionadas por el ataque de patógenos a cultivos de importancia económica y se fomentó la investigación en el campo de la salud, en cuanto al estudio de patologías propias del país.

En 1999 y debido a la aún incipiente vinculación con el sector productivo y por ende la falta de competitividad, el gobierno lanza el Plan Nacional de Desarrollo, 1999 – 2002, que tendría entre sus objetivos estratégicos: la promoción de la transferencia tecnológica exitosa en empresas biotecnológicas y la generación de políticas industriales y económicas que fomentaran la inversión de capital de riesgo en Biotecnología, así como el apoyo a la formación de recursos humanos en todas las áreas del proceso de innovación de la misma (Colciencias, 1999). Dando continuidad a estas políticas de inversión y fomento de la Biotecnología, el Plan Nacional de Desarrollo 2002 – 2006 “Hacia un Estado Comunitario”, enuncia la adopción de una política integral encaminada a: la creación de mecanismos para promover el desarrollo y competitividad empresariales en el campo de los bienes y servicios biotecnológicos; el mejoramiento de la



capacidad nacional para mejorar el marco legal relacionado con la Biotecnología; y el desarrollo de una estrategia para la divulgación y la comprensión de la opinión pública acerca de los beneficios y riesgos asociados a la Biotecnología (Forero, 2011).

De igual manera el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 “Prosperidad para todos”, reconoce la importancia del aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y el desarrollo de la Biotecnología como elementos claves en el crecimiento y mejoramiento de la competitividad, y se establece la *Política para el desarrollo comercial de la Biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad*, que propone desarrollar un conjunto de instrumentos económicos para generar inversiones públicas y privadas para el desarrollo de empresas y productos basados en el uso sostenible con fines comerciales de la biodiversidad, específicamente de los recursos biológicos, genéticos y sus derivados y la Biotecnología (Departamento Nacional de Planeación, 2011).

De esta manera, y de acuerdo con Buitrago (2012) podemos decir que, debido a las acciones emprendidas en el marco de distintos planes estratégicos del gobierno, durante las últimas tres décadas, el desarrollo de la Biotecnología en Colombia ha tenido un crecimiento importante en cuanto a la conformación y consolidación de comunidades dedicadas a la investigación biotecnológica. En contraste, el autor explica que el surgimiento de empresas que estén soportadas en biotecnologías ha sido limitado comparado con la anterior comunidad. Al respecto, también Bota (2003) señala, según su análisis del panorama biotecnológico latinoamericano, que, en países como Colombia, Chile y México, se están formando más científicos que la capacidad investigativa del país y las necesidades de la industria.

No obstante, podemos acercarnos a la investigación científica en Biotecnología en Colombia a través del informe elaborado por el Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAICYT) en el año 2009, relacionado con la situación actual y tendencias de la investigación en biotecnología en Iberoamérica. En el informe podemos observar que para el año 2008, la producción científica en Biotecnología (entendida como los artículos publicados en las revistas de mayor reconocimiento a nivel internacional) en Iberoamérica es liderada por España, con 2.090 documentos, en segundo lugar, se encuentra Brasil, con 1.405, en el tercer y cuarto lugar se ubican México y Portugal, que registran 400 y 392 artículos respectivamente y en el quinto lugar Argentina, con 295 artículos. Los países que siguen en orden decreciente son: Chile (162 publicaciones), Colombia (99), Venezuela (67), Cuba (47), Uruguay y Perú (ambos con 33) y, finalmente, Costa Rica (26). Otros países de la región registran, menos de una decena de artículos publicados en Biotecnología en 2008. El documento también informa que Colombia ha realizado diferentes publicaciones en asocio con instituciones de investigación de Estados Unidos,

Argentina, México y Cuba, lo que da cuenta del crecimiento de la articulación y conformación de redes de investigación del país con distintos países de la región (CAICYT, 2009).

En cuanto al logro de patentes, la situación para Colombia no es muy alentadora, el mismo estudio informa que en el ranking mundial el primer lugar lo ocupa Estados Unidos, con 39.708 registros, con lo cual reúne el 48% del total de patentes consideradas. A nivel iberoamericano, mientras tanto, los cinco países con mayor presencia entre los titulares de las patentes son, España, Brasil, Portugal, Cuba y México; nuevamente España lidera el grupo con 547 registros, acumulando más del 60% del total regional, mientras que, si se suman las patentes de los cinco países de mayor presencia, se cubre casi el 95% del total iberoamericano. En el caso de Colombia, para el año 2008, las patentes otorgadas fueron solamente 13 (CAICYT, 2009). Esta información se corresponde con los resultados presentados al respecto por Ávila, Blanco y Chaparro-Giraldo (2010), quienes señalan que de las 21 instituciones colombianas que avalan la mayoría de los proyectos de investigación que tienen acceso a recursos genéticos, solo tres han iniciado procesos de protección de derechos de propiedad intelectual con los cuales proteger sus resultados y coincide con la información proporcionada por Stevens (2017), para quien, desde 2012 hasta 2016, Colombia ha registrado únicamente cuatro patentes biotecnológicas a través de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual.

El bajo número de patentes de origen colombiano, da cuenta del bajo nivel de aplicación industrial de la Biotecnología en nuestro país, que para la región iberoamericana en general está enfocada principalmente en las áreas de Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética, Ciencias médicas y veterinaria, Química orgánica, Agricultura, Bosques y Ganadería y Biotecnología de Alimentos (CAICYT, 2009) y deja abierto el cuestionamiento acerca de la escasa relación entre el alto potencial investigativo de nuestro país, tanto en materia de recursos humanos como de biodiversidad, y la escasa competitividad del sector productivo, lo cual será revisado, aunque sin mayor detenimiento en los apartados posteriores.

### **2.3.2 Sectores de desarrollo biotecnológico en Colombia**

En el año 2010 investigadores de la Universidad Nacional de Colombia en convenio con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), reportaron un estudio en el que evaluaron, mediante la revisión de los proyectos de investigación reportados en la base de datos nacional GrupLAC de Colciencias, hasta diciembre de 2008, el acceso a los recursos genéticos por parte de los grupos de investigación en Colombia (Ávila et al., 2010). Dado que parte de la investigación en Biotecnología está asociada al acceso de recursos genéticos, este estudio nos da una idea del estado de la investigación biotecnológica en el país y de su relación con los sectores productivos.

Los resultados de la investigación en mención, dejan ver que del total de grupos revisados (957), pertenecientes a los programas Biotecnología, Ciencia y Tecnología de la Salud, Ciencia y Tecnología del Mar, Ciencia y Tecnologías Agropecuarias y Ciencias Básicas, un 13,7% realiza acceso a recursos genéticos, y que a su vez, un porcentaje considerable de la investigación que realiza acceso a recursos genéticos, está encaminada al avance del sector productivo agrícola y pecuario, así como al desarrollo de técnicas y procesos relacionados con la Biotecnología. El estudio destaca además el considerable porcentaje de proyectos de investigación de los que no se conoce el origen de los recursos genéticos utilizados, lo cual, según los autores pone en evidencia la falta de control y seguimiento por parte del Estado sobre los recursos biológicos y genéticos empleados en las investigaciones (Ávila et al., 2010).

En cuanto la aplicación de la Biotecnología en los sectores productivos del país, Colciencias (2008), coincide con el informe anterior al señalar que la mayor parte de la investigación biotecnológica en Colombia está dedicada principalmente a ejecutar trabajos en los sectores agrícola y vegetal, un segundo campo de acción se encuentra en los distintos sectores relacionados con la salud humana, un tercer campo se enfoca en el sector ambiental y animal, y el último campo se encuentra en el sector industrial (Colciencias – Corpogen, 2008).

De esta manera, Colciencias reporta que en el sector agrícola-pecuario las investigaciones se orientan a la transformación vegetal y a los biofertilizantes y biopesticidas, aunque también se encuentran investigaciones relacionadas con resistencia a patógenos y con caracterización molecular de especies de interés económico. En el sector salud es notable el desarrollo de trabajos en temas relacionados con el empleo de anticuerpos monoclonales para la obtención de sistemas de diagnóstico y el desarrollo de técnicas de ADN recombinante aplicadas a la alergología experimental. En los aspectos medio ambientales se ha dado inicio al desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales y en el sector pecuario se ha impulsado el uso de herramientas de Biotecnología para la caracterización de algunas razas de ganado criollo bovino de importancia económica para el país (Colciencias – Corpogen, 2008).

Es importante tener en cuenta, y de acuerdo con Colciencias, que, para el sector agrícola, la mayor parte de la investigación se desarrolla a través de gremios o asociaciones sectoriales de producción como: CENICAFE, CENICANÑA, FEDEPAPA, FEDEARROZ, CENIBANANO, entre otros, los cuales captan recursos para desarrollar directamente actividades de I+D aplicadas a la resolución puntual de problemas en sus procesos productivos. En el sector pecuario, la investigación es liderada por CORPOICA, organismo que brinda un apoyo significativo a las labores pecuarias de los centros de investigación. Una situación diferente se da en cuanto a la investigación biotecnológica en los sectores de salud humana, medio ambiente e industria, donde los niveles

de participación de las universidades son significativamente más altos que los niveles de participación de los centros de investigación y las empresas (Colciencias, 1999).

A este respecto la institución privada AgroBio también señala que en Colombia existen más de 114 grupos de investigación sobre Biotecnología en varias universidades del país, que el país cuenta con instituciones focales de investigación como el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN), CorpoGen, Corporación Biotec, Corpoica, CIAT, BioIntropic, el Centro de Bioinformática y Biología Computacional, entre otras, que se encuentran desarrollando iniciativas productivas dentro del sector agropecuario (AgroBio, 2016).

### **2.3.2.1 Investigación y aplicación de la Biotecnología en el sector agrícola**

Como hemos mencionado, uno de los principales sectores de desarrollo biotecnológico en Colombia es el sector de la agricultura, por esta razón éste sector puede ser considerado como representativo en el país en cuanto al avance de la investigación en Biotecnología y su relación con el sector productivo.

Puede decirse así que la investigación en el campo de la agricultura es amplia y variada, Roca (2003) informa que CORPOICA y la Compañía Agrícola Colombiana, filial de Monsanto han realizado, de manera independiente evaluaciones de campo con algodón *Bt* transgénico para resistencia a insectos, que CENICAÑA está produciendo variedades transgénicas con resistencia al síndrome de la hoja amarilla (enfermedad de la caña más importante en Colombia) y que el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN) se encuentra desarrollando, en colaboración con el gobierno de Holanda un proyecto en la Costa Atlántica con ñame para la producción de material para la siembra.

El autor reporta además que CORPOICA ha conducido investigaciones en distintas áreas de agrobiotecnología y recursos fitogenéticos, en las que ha llevado a cabo la caracterización molecular de germoplasma de papa, aguacate, guanábana, maíz, soya, algodón, guayaba y tomate de árbol, con miras a entender la diversidad genética y la filogenia de un número grande de especies colombianas y de lograr a su vez, la tolerancia a la sequía y a suelos ácidos en especies de maíz; que el laboratorio de Biotecnología de la empresa CENICAÑA por su parte ha desarrollado diferentes proyectos con los cuales busca el mejoramiento genético de distintas variedades de caña; que el Centro de Investigación de Coltabaco ha realizado investigaciones relacionadas con modificación de distintas variedades de tabaco para hacerlas resistentes a coleópteros y lepidópteros (Roca, 2003).

Por otro lado, es importante recalcar la presencia de distintos cultivos genéticamente modificados en el país, los cuales han sido progresivamente autorizados para su comercialización desde el año 2003, cuando el Ministerio de Agricultura permitió la liberación de algodón transgénico inicialmente en Córdoba y, luego en el Tolima, Huila y Valle (Gómez, 2011). De acuerdo con Chaparro (2011), en Colombia se han liberado comercialmente diferentes cultivos transgénicos de maíz y algodón, con resistencia a insectos lepidópteros o, con tolerancia al glifosato, así como cultivos que contienen las dos modificaciones. Para el caso del algodón, las autorizaciones incluyen el uso para la producción de alimentos para animales, en tanto que, en el caso del maíz, incluyen el uso para alimentación directa o procesamiento para el consumo humano y animal. También se han liberado comercialmente cultivos de clavel y rosa transgénicos con fenotipos de color azul para las flores, al igual que crisantemo con el mismo fenotipo para siembra experimental. En este sentido, según AgroBio, para el año 2009 en Colombia, se sembraron 18.874 hectáreas de algodón transgénico, 16.793 hectáreas de maíz y cuatro hectáreas de clavel y rosa.

Otros productos que han recibido autorizaciones son: para consumo de animales domésticos, arroz con tolerancia al herbicida glufosinato de amonio (2008) y, remolacha azucarera con tolerancia al glifosato (2010) y, liberación comercial para la siembra de soya con tolerancia al glifosato (2009). Por otro lado, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) ha concedido autorizaciones para centros de investigación que realizan trabajos en ingeniería genética al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), a CENICAÑA y a Cenicafé (Chaparro, 2011).

### **2.3.3 Políticas de regulación de los desarrollos biotecnológicos y el acceso a los recursos genéticos**

La comercialización con productos genéticamente modificados ha llevado a que diversas organizaciones mundiales como la ONU y la OCDE se expresen acerca de los riesgos implícitos y las condiciones al acceso, manejo y transferencia de los recursos genéticos, por lo que a través de diversas reuniones, entre ellas el Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología de 1992, han planteado las políticas, estrategias y programas para regular el manejo de los recursos genéticos, dándose a la tarea de discutir con los gobiernos de distintos países sobre los posibles riesgos y los requisitos de contención asociados a las tecnologías del ADN recombinante (Buchholz y Collins, 2013).

En este orden de ideas, Mackenzie, et al. (2004), señalan que el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología es uno de los más importantes tratados internacionales recientemente adoptados. Dicho tratado fue denominado Convenio sobre Diversidad Biológica

(CDB)<sup>5</sup>, el cual se constituyó con el objetivo de *“contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana y centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos”*.

En Colombia el marco general en bioseguridad para organismos genéticamente modificados incluidos los cultivos transgénicos, lo otorga el Protocolo de Cartagena a través de la Ley 740 de 2002. Sin embargo, de acuerdo con Gómez (2011) Colombia tiene tan sólo una regulación parcial para el uso agrícola de transgénicos, y no hay una norma integral de bioseguridad que incluya todos los aspectos de la Biotecnología (agrícola-pecuario, ambiente-industria y salud), por tanto, cabe la duda que el país tenga la capacidad técnica y científica necesaria para evaluar en forma objetiva e independiente los riesgos e impactos de los cultivos transgénicos. La principal denuncia que hace la autora tiene que ver con la autorización de movimiento transfronterizo de algunos transgénicos sin aplicar el principio de precaución, señalando que, en estas condiciones, en Colombia no se está aplicando adecuadamente el Protocolo.

En este mismo sentido, Ávila et al. (2010) señalan que en Colombia un elevado número de investigaciones en las que hay acceso a recursos genéticos se está realizando sin solicitar permisos, es decir bajo condiciones de ilegalidad, lo cual tiene varias repercusiones sobre todo si se considera que el procedimiento de acceso a recursos genéticos implementado en el país responde a la existencia de acuerdos internacionales que claramente manifiestan la necesidad de establecer mecanismos que permitan salvaguardar y proteger la biodiversidad de la cual son soberanos los países, así como de establecer una distribución justa y equitativa de los beneficios que el uso de la misma genera.

Según los autores, es claro que el procedimiento de concesión de permisos de investigación en recursos biológicos y de contratos de acceso a recursos genéticos no es suficiente para garantizar que se estén acatando las normas vigentes sobre el régimen de acceso a los recursos genéticos por parte de los investigadores (Ávila et al., 2010), lo que se está convirtiendo en un incentivo perverso que tiene dos consecuencias generales, por un lado que los investigadores accedan a los recursos genéticos evitando el proceso de solicitud de contrato de acceso (Torres, Macías y Chaves, 2004), y por otro, que la investigación en el país se vea obstaculizada, debilitando así la capacidad nacional para el desarrollo (Gómez y Nemogá, 2007).

---

<sup>5</sup> El CDB se adoptó el 5 de junio de 1992, entró en vigor el 29 de diciembre de 1993 y al 10 de febrero de 2005 contaba con 88 partes contratantes. Fue aprobado en Colombia por la Ley 165 de 1994 (Gómez, 2011).

Es posible pensar así, que la falta de políticas nacionales claras y precisas que apuesten por la defensa de la biodiversidad y por un desarrollo biotecnológico que beneficie principalmente a la población colombiana, así como la inexistencia de códigos propios de bioseguridad de la Biotecnología, está permitiendo que sean otros países y otras empresas (de países más desarrollados quizás) quienes estén teniendo acceso al conocimiento derivado de nuestra biodiversidad y por tanto a su utilización en los desarrollos biotecnológicos de otras naciones, según lo cual vivenciaríamos un modelo absurdo: dar libre acceso a la biodiversidad local a otros países, ser biotecnológicamente dependientes y seguir siendo “arrollados” por la falta de coherencia entre las normas y leyes nacionales y los acuerdos internacionales, incoherencia aprovechada por naciones más desarrolladas.

#### **2.3.4 Implicaciones educativas del desarrollo de la Biotecnología en Colombia**

Luego de la revisión presentada podemos decir que en Colombia la presencia de la Biotecnología es una realidad. A pesar de la falta de consecución de patentes, la investigación biotecnológica ha venido creciendo y consolidándose en los distintos sectores productivos del país, de igual manera, son cada vez más los productos genéticamente modificados y las aplicaciones de la Biología Molecular que se encuentran en circulación, no solo en los laboratorios de universidades, centros e institutos de investigación sino en el mercado, incluidos allí, los cultivos genéticamente modificados tanto para venta nacional, como para exportación.

Sin embargo, parece que la diversidad en especies de nuestro país, así como el fomento y la inversión que a nivel estatal se ha venido dando en las últimas décadas en cuanto a la formación de personal capacitado y apoyo a proyectos de investigación en Biotecnología, no se ve reflejada en el desarrollo industrial y económico de Colombia, lo que nos lleva a cuestionarnos acerca de los elementos que podrían estar haciendo falta en nuestro sistema social y que permitirían mejorar el desarrollo biotecnológico del país y para el país.

Para afrontar tal situación se requiere de acciones en varias vías, por un lado de la búsqueda sistemática en nuestra biodiversidad de genes, moléculas orgánicas, macro y microorganismos con potencial uso biotecnológico, por parte de grupos o instituciones que estén en capacidad de otorgarles valor agregado a través de su aplicación industrial, propendiendo por su protección y por el desarrollo económico del país (Cerón, 2011); por otro lado, la creación y puesta en marcha de una regulación legal en materia de bioseguridad que asegure la conservación y utilización adecuada de los recursos genéticos con posibles aplicaciones biotecnológicas de Colombia (Baquero y Herrera, 2004); y por último, pero no menos importante, del reconocimiento de la necesidad de asumir la enseñanza de la Biotecnología, a través de estrategias que permitan la construcción de un saber situado (Massarini et al., 2014), con lo cual empoderar a la población

colombiana de conocimientos que le permitan comprender de manera global la situación en cuanto al desarrollo biotecnológico del país, a través del reconocimiento de las posiciones de los distintos actores participantes: empresas transnacionales de Biotecnología, productores agropecuarios, ONGs, comunidad científica (y tecnocientífica), ciudadanos y Estado; y a su vez asumir una posición crítica frente a los productos y desarrollos biotecnológicos y las noticias presentadas por los medios de comunicación.

Pero ésta última tarea no es fácil, corresponde a nosotros los profesores de ciencias naturales encarar la educación en Biotecnología, no sólo desde el plano de la enseñanza de conceptos y procedimientos, sino también con la intención que los estudiantes reconozcan las relaciones dinámicas que existen y que han existido a través de los tiempos, entre esos conceptos y procesos con los distintos subsistemas de la sociedad como el económico, el político y el legal.

De acuerdo con lo anterior, en el siguiente apartado presentaremos los antecedentes de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Biotecnología a nivel internacional, nacional y local, con el fin de mostrar las principales tendencias relacionadas con las estrategias para su enseñanza, los contenidos de enseñanza, la introducción de estos contenidos en los currículos y la investigación de conocimientos, actitudes e intereses tanto de estudiantes como de profesores de educación básica secundaria y media, entre otras.

## **2.4 ANTECEDENTES DE LA ENSEÑANZA DE LA BIOTECNOLOGÍA**

Con la intención de revisar el estado de la enseñanza de la Biotecnología, tanto en Colombia como en otros países del mundo, a continuación, presentamos los principales antecedentes de investigaciones relacionadas con la educación biotecnológica a nivel internacional, nacional y local, enfatizando en las tendencias en educación biotecnológica y haciendo hincapié en aquellas relacionadas con el conocimiento del profesor en esta temática.

La revisión documental se realizó a partir de la búsqueda en distintas bases de datos como REDALYC, Scielo, Dialnet, Pubmed y Springer Link, de artículos relacionados con la enseñanza de la Biotecnología, usando descriptores como “enseñanza de la Biotecnología”, “educación biotecnológica” y “aprendizaje de la Biotecnología” tanto en español como en inglés y portugués. De esta manera, en primera instancia, a partir del resumen analítico, elaborado para cada artículo seleccionado, presentamos, un panorama general de la situación actual de la enseñanza de la Biotecnología y la investigación al respecto en diferentes regiones del mundo, dando cuenta de las particularidades encontradas para cada región. Para efectos de la sistematización se utilizaron diferentes categorías emergentes, entre ellas, estrategias para la enseñanza de la Biotecnología,



contenidos de enseñanza, inclusión curricular, las cuales permitieron establecer semejanzas y peculiaridades para cada categoría en particular.

#### **2.4.1 Organizaciones ocupadas de la enseñanza de la Biotecnología**

En atención a las organizaciones mundiales que a lo largo de la historia se han preocupado por la inclusión de la enseñanza de la Biotecnología en las aulas de clase desde los primeros niveles escolares, debemos decir, de acuerdo con el seguimiento que Roa y Valbuena (2013) hacen al respecto, que fue la Unesco en 1990, con participación de la Comisión de Educación en Biología quien impulsó la creación del *National Centre for Biotechnology Education* (NCBE) en el Reino Unido. Siguiendo a los autores, un elemento que justificaría la creación del centro sería el informe sobre una investigación dirigida por el *Department of Trade and Industry* (DTI) del Reino Unido (1984-1985), según el cual, si bien muchos profesores conocían sobre el potencial e importancia económica de la Biotecnología y estaban interesados en la incorporación de su enseñanza, pocos tenían la formación, experiencia o incentivos educativos para hacerlo.

La incorporación de la Biotecnología en instituciones de educación secundaria de Europa y Norteamérica, que en sus comienzos surge con la intención de enseñar conceptos y técnicas biotecnológicas así como poner en discusión en la escuela asuntos polémicos relacionados, se ve luego afectada por los intereses particulares de industriales y comerciantes, quienes preocupados por la inclusión de nuevos productos biotecnológicos en el mercado, dan su apoyo financiero a los centros de enseñanza; logrando que la educación en Biotecnología se convierta en un instrumento para evitar actitudes negativas que afectaran la comercialización de los productos (Roa y Valbuena, 2013).

Ante esta situación, de manera alternativa se conforma en Europa la EIBE (*European Initiative on Biotechnology Education*), una red para la enseñanza de la Biotecnología, que con participación de expertos en educación de varios países europeos: Bulgaria, Estonia, Polonia, Suiza, República Checa, Grecia, Bélgica, Dinamarca, Alemania, Irlanda, España, Francia, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Suecia y Reino Unido, busca desarrollar habilidades, aumentar la comprensión y facilitar el debate público de la Biotecnología en escuelas, institutos de enseñanza secundaria y universidades de la Unión Europea (Braun y Moses, 2004).

En cuanto a Latinoamérica y España, podemos mencionar que desde el 2006 existe la *Red Iberoamericana de Educación en Biotecnología Agroalimentaria, BioEDUCAR*, creada por la FAO con apoyo del (CYTED) Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Fernández, Diamante y McCarthy, 2013), y que entre sus resultados se destacan la realización de numerosos eventos de intercambio de experiencias, la definición de temas de investigación

de relevancia social y/o económica; el desarrollo de programas de educación en Biotecnología agroalimentaria dirigidos a estudiantes de primaria y secundaria, profesionales de la salud y la educación, comunicadores sociales, gestores de política y público en general; y la realización de varios cursos de capacitación en Biotecnología en los países que integran la Red.

En Argentina, adicionalmente, existe una asociación dedicada a la divulgación y fomento de la comprensión de la Biotecnología, denominada Argenbio. Dicha asociación ofrece un programa educativo llamado *Por Qué Biotecnología*, encargado de impulsar a través de la capacitación docente y la promoción de distintos recursos didácticos la enseñanza de la Biotecnología en la escuela. Entre otras estrategias, el programa ofrece a través de su página web ([www.porquebiotecnologia.com.ar](http://www.porquebiotecnologia.com.ar)) un boletín didáctico llamado “El Cuaderno”, en el que en cada edición se aborda un tema específico y se incluye información teórica, ejercicios, bibliografía de consulta y consideraciones metodológicas para enseñar dicho tema en el aula, especialmente en el nivel de secundaria, últimos años de primaria y los niveles introductorios de carreras universitarias, así como charlas de asesoramiento a los docentes en las instituciones que así lo soliciten (Argenbio, 2014).

En Brasil también encontramos un sitio web denominado “Biotecnología, Enseñanza y Divulgación” (<http://www.bteduc.bio.br/>), dirigido a estudiantes, profesores, investigadores y demás interesados en la enseñanza de la Biotecnología. La página presenta una considerable cantidad de material didáctico (guías de actividades, láminas y prácticas de laboratorio) de libre acceso, en portugués y español, con la intención de brindar a los docentes algunos elementos para desarrollar en las clases, así como divulgar en un lenguaje simple y accesible al público los fundamentos de la Biotecnología, sus alcances y limitaciones y, contribuir a la formación de una cultura científico-tecnológica.

#### **2.4.2 Inclusión de la Biotecnología en los currículos escolares**

De acuerdo con France (2007), la tendencia internacional respecto a la incorporación de la Biotecnología en la escuela es la inclusión de la Biotecnología moderna en el currículo de la asignatura de Biología perteneciente a los últimos años de la escuela secundaria, lo cual coincide con la afirmación de Mweene et al., (2011), quienes señalan que en respuesta al rápido desarrollo de la Biotecnología y su importancia para la sociedad, hoy en día los currículos escolares nacionales de distintos países del mundo apoyan, reconocen e incluyen la educación en Biotecnología.

Así, por ejemplo, en Inglaterra, la Biotecnología fue incluida en el currículo oficial de ciencias naturales desde 1989 (Ocelli, 2013a), desde el cual se abordan tanto conceptos como cuestiones

éticas relacionadas con la Biotecnología (Mweene et al., 2011). En Australia mientras tanto, la inclusión de la Biotecnología en el currículo de ciencias es promovida por el gobierno estatal, el cual además ha incorporado la Biotecnología en forma de materias electivas que son evaluadas en las pruebas estatales y que incluyen temáticas como anticuerpos monoclonales, fertilización *in vitro*, secuenciación del ADN, ingeniería genética, clonación, pruebas de paternidad y terapia génica (Steele y Aubusson, 2004). En el currículo oficial de ciencias de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) de España por su parte se incorporan contenidos científicos y tecnológicos controvertidos, como la ingeniería y la manipulación genética (Cabo et al., 2005), mientras que, en Portugal, de acuerdo con el Ministerio de Educación, los temas relacionados con la Biotecnología deben abordarse específicamente en el currículo de Biología del grado 12, que se centra en biología molecular, genética y genómica. En Argentina, y a partir de distintas reformas educativas los contenidos de la Biotecnología se han incluido en la asignatura de Biología del último año de la escuela secundaria desde 1990 (Occelli, Vilar, y Valeiras, 2011; Occelli, 2013a, Occelli et al., 2014).

La revisión adelantada permite señalar además que dicha inclusión también se da a través de los currículos de Tecnología, tal es el caso, de Nueva Zelanda, en donde la Biotecnología es una de las siete áreas tecnológicas especificadas en el plan de estudios de tecnología y es impartida a estudiantes de primaria y secundaria (Moreland et al., 2006) y, de Estados Unidos en donde luego de las recomendaciones del *Proyecto 2061, Ciencia para Todos los Estadounidenses*, la Biotecnología está incluida tanto en los planes de estudios de Tecnología (Dunham et al., 2002), como en los de Ciencias Naturales (Borgerding et al., 2013).

En el caso de Colombia en particular, vale la pena reiterar que en el año 2017 el Ministerio de Educación Nacional (MEN) presentó dentro de los DBA (Derechos Básicos de Aprendizaje) de Ciencias Naturales e grado décimo uno relacionado con la comprensión del objeto y las implicaciones de la Biotecnología.

Cabe resaltar que antes del año 2017 algunos docentes del país se habían interesado por incluir contenidos de la Biotecnología en el desarrollo de las temáticas de sus clases, a través de la puesta en marcha de proyectos pedagógicos encaminados a familiarizar a los estudiantes de los niveles de educación básica secundaria y media con la implementación de aplicaciones biotecnológicas. A este respecto podemos mencionar las propuestas del Grupo Biotecnología y Educación de la Universidad Pedagógica Nacional, que surge en el año 1995 y que ha descrito y desarrollado proyectos escolares sobre Biotecnología en varias instituciones de educación básica y media; propuesto unidades didácticas bajo el modelo de enseñanza aprendizaje como investigación, e incorporado cursos electivos en la formación de futuros profesores de Biología (Roa y Valbuena, 2013) y de dos grupos pertenecientes al Instituto de Biotecnología de la

Universidad Nacional de Colombia (IBUN): el Grupo Biosec (Grupo de Incorporación de la Biotecnología en la Educación Básica y Media) y el Grupo Bio-Educación<sup>6</sup>, los cuales, con objetivos similares, encaminados a adaptar e implantar en las instituciones educativas, un modelo pedagógico para incorporar elementos de Biotecnología en los currículos de Ciencias Naturales de educación básica, media y superior, mediado por la formación de competencias académicas, científicas, laborales y sociales en los estudiantes, buscan mejorar el aprendizaje de las ciencias naturales (Grupo de Incorporación de la Biotecnología en la Educación Básica y Media, 1997; Grupo Bio-Educación, 2007).

En este sentido, para el año 1997, el grupo Biosec informa haber llevado a cabo la capacitación de más de 250 profesionales y estudiantes de diferentes instituciones del país (Grupo de Incorporación de la Biotecnología en la Educación Básica y Media, 1997) y haber desarrollado el software educativo “Herramienta multimedia para la enseñanza de Ciencias Naturales a partir de la biotecnología”, seleccionado por el Ministerio de Educación en el año 2003 para integrar la CDteca Educación con Multimedia, por su calidad académica, pedagógica y técnica ([http://www.ibun.unal.edu.co/lineasGrupos/GruposTransversales/L&G GT Biosec.html](http://www.ibun.unal.edu.co/lineasGrupos/GruposTransversales/L&G_GT_Biosec.html)).

Adicionalmente, el grupo Biosec informa haber generado en el año 2008 la primera biofábrica de la Orinoquía colombiana, construida en el Colegio Jorge Eliecer Gaitán, mediante un trabajo mancomunado con la empresa privada *Metapetroleum Company* y la Alcaldía de Puerto Gaitán (Caro, 2008).

De acuerdo con Caro (2008) aparte de la construcción y puesta en marcha de la biofábrica, uno de los logros más significativos alcanzados por el grupo Biosec en Puerto Gaitán ha sido la reestructuración del plan de estudios en el área de ciencias naturales y educación ambiental, en los niveles de educación básica primaria, básica secundaria y media vocacional, con lo cual se ha facilitado la articulación de los contenidos de las asignaturas de biología, química, física y matemáticas, en la Especialidad en Biotecnología, implementada en el Colegio Jorge Eliécer Gaitán, de manera adicional a las de Turismo y Mantenimiento de Computadores.

En cuanto al grupo Bio-Educación, cabe resaltar que éste, atendiendo a las propuestas de la Secretaría de Educación del Distrito en cuanto a desarrollar estrategias para fortalecer la formación de los estudiantes de educación media, apoyando al mismo tiempo su continuidad

---

<sup>6</sup> El grupo Bio-Educación surge en el año 2004 al interior del grupo Biosec, que cuenta con más de 15 años de experiencia en aplicaciones de la biotecnología en la educación secundaria. El grupo naciente amplió sus horizontes a la educación básica, media y superior (Grupo Bio-Educación, 2007).

hacia la educación superior y su acceso al mundo laboral<sup>7</sup>, ha generado la iniciativa denominada Modelo de Formación Laboral en Biotecnología. Dicha propuesta se ha desarrollado en forma de PFPD (Programa de Formación Permanente de Docentes)<sup>8</sup> durante los años 2003 – 2008 y 2010 – 2013 y, se ha llevado a cabo en dos espacios: formación de docentes en diplomados de la Universidad Nacional y, formación basada en competencias laborales de los estudiantes de décimo y undécimo, liderada por los docentes participantes del programa (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

De lo anterior han derivado propuestas de incorporación de la Biotecnología en distintas instituciones escolares de Bogotá, como el Instituto Pedagógico Nacional, de la Universidad Pedagógica Nacional, en donde se realizan proyectos pedagógicos con estudiantes de educación media, en los cuales, inicialmente a manera de seminario, hoy en día como énfasis, los jóvenes pueden profundizar en áreas de aplicación biotecnológica (Melo et al., 2001, Bejarano y Basto, 2011) y; el colegio IED Manuelita Sáenz, en donde se diseñó y aplicó un modelo para la enseñanza de la Biotecnología vegetal con jóvenes de los grados 10° y 11°, basado en el aprendizaje significativo, buscando abordar problemas del mundo real y la formación de competencias laborales (Delgado, 2012).

En el Valle del Cauca, además (específicamente en Cali) se viene desarrollando desde el año 2002 el Programa “La Biotecnología en el Salón de Clases”, liderado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en conjunto con el Centro Auxiliar de Servicios Docentes (CASD), cuyo principal objetivo es explicar en los salones de clase, combinando la teoría con la práctica, lo que se hace en los laboratorios de Biotecnología. Al vincularse al programa, los centros educativos han integrado temas relacionados con la Biotecnología a su Programa Educativo Institucional (PEI); y han formado parte de un modelo de transferencia de experiencias significativas hacia estudiantes de educación media próximos a decidir su formación profesional (<http://ciatblogs.cgiar.org/agrobiodiversidad/biotecnologia-al-alcance-de-todos/#sthash.Llxy6YGx.dpuf>).

---

<sup>7</sup> Durante el año 2006 la Secretaría de Educación del Distrito pone en circulación el Programa de Educación para Jóvenes y Adultos, con el cual busca articular el sector productivo con el de educación a través del proyecto denominado “La Cultura para el Trabajo en la Educación Media de Bogotá”

<sup>8</sup> Los Programas de Formación Permanente de Docentes PFPD, son una opción formativa, en la que los docentes desarrollan actividades de actualización académica, experiencias de innovación y trabajan elementos de investigación educativa, en el marco de las líneas de investigación que ofrecen las entidades autorizadas para ello (Portal educativo red académica <http://www.redacademica.edu.co/formaci%C3%B3n-de-docentes/pfpds/item/250-pfpd-s-para-ascenso-en-escalafon.html>).

Por último, es de resaltar que tanto Colciencias, como la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC) brindan asesoría y apoyo a los proyectos de educación en ciencias, incluida la Biotecnología, desarrollados en distintas instituciones educativas de los niveles básico y medio.

### **2.4.3 Motivos y finalidades de la inclusión de la Biotecnología en los planes curriculares**

Con relación a los motivos que han llevado a incluir contenidos asociados a la Biotecnología en los currículos escolares, se identifica que tanto en los países de Europa y Oceanía, como en Estados Unidos y Latinoamérica, una de las principales razones para la incorporación de dichos contenidos es la denominada alfabetización científico-tecnológica de la ciudadanía (Steele y Aubusson, 2004; Cabo et al., 2005; Dawson y Soames, 2006; Pedrancini, et al., 2008; Negrín, et al., 2007; Roa et al., 2008; Kidman, 2009; Garritz y Velásquez, 2009; Arroyo, 2011; Mweene et al., 2011; Fonseca et al., 2012; Delgado, 2012; Occelli et al., 2012; Occelli, 2013a; Occelli, 2013b; Roa y Valbuena, 2013) que permita formar ciudadanos reflexivos y críticos, capacitados para participar ampliamente y tomar decisiones argumentadas en los debates que los medios de comunicación presentan en torno a cuestiones relacionadas con la clonación, la producción de organismos genéticamente modificados, la creación de nuevos alimentos, etc.

La segunda tendencia observada como una finalidad de la incorporación de la Biotecnología en el currículo, especialmente para el caso de Colombia, aunque no exclusivamente, es el interés por la adquisición de habilidades y competencias científicas y/o laborales o de emprendimiento, éstas últimas ligadas a la formación para el trabajo que se pretende los jóvenes adquieran durante los últimos años escolares (Valbuena, 1998; Melo et al., 2001; Arroyo, 2011, Corporación Biotec, 2011, Delgado, 2012, Bejarano y Basto, 2011, Borgerding et al., 2013), que les permita formarse como futuros profesionales competentes y productivos en el campo de la Biotecnología y/o valorar y hacer un uso, tanto racional como ético de la biodiversidad y sus recursos genéticos.

Valbuena (1998), Pedrancini et al. (2007), Roa et al. (2008) y Kidman (2009) coinciden en señalar además que la incorporación de contenidos propios de la Biotecnología puede mejorar los procesos de enseñanza – aprendizaje de las ciencias naturales.

Se pueden mencionar adicionalmente, motivos relacionados con la idea que la apropiación de contenidos asociados a la Biotecnología, puede preparar a la población juvenil para asumir una época donde el desarrollo de una nación depende en gran medida de la capacidad de producir conocimiento y tecnología (Melo et al., 2001) o mejorar la productividad y la calidad de vida en el campo (Corporación Biotec, 2011).

#### 2.4.4 Estrategias empleadas en la enseñanza de la Biotecnología

En cuanto a las estrategias y propuestas didácticas orientadas a la enseñanza de la Biotecnología, la revisión adelantada permite establecer varias tendencias.

Una de las tendencias es la **realización de prácticas de laboratorio**, bien sea acompañadas de la discusión sobre temas de actualidad y relevancia en la Biotecnología como en Puerto Rico (Arroyo, 2011), de exposiciones orales por parte de especialistas como en Venezuela (Eleizalde, Parra, Palomino, Reina y Trujillo, 2010) o de lecturas y talleres sobre situaciones cotidianas como en Argentina (Duarte, Noguera y Martínez, 2012). Adicionalmente, podemos mencionar el desarrollo de prácticas de laboratorio en clases de tecnología de EE.UU, tal es el caso de del uso de fotobiorreactores en la producción de fertilizantes alternativos por Dunham et al. (2002), quienes también acuden al uso de cuestiones controvertidas a partir de la exploración de cuestiones bioéticas en torno al uso de la hormona de crecimiento somatotropina bovina (BST) en la producción de leche.

Otra tendencia evidenciada corresponde al **desarrollo y uso de estrategias mediadas por TIC**, como la reportada por Negrín et al. (2007), quienes emplearon el televisor para desarrollar un curso de Introducción a la Biotecnología para estudiantes de secundaria y universitarios de Cuba en forma de teleclases, propiciando además el debate y la reflexión sobre la Biotecnología y su incidencia en el plano científico, económico-social y político de los países; el diseño de tutoriales basados en la web (trabajo con modelos analógicos con objetos y situaciones cotidianas para la enseñanza de ADN, replicación del ADN, y expresión de la información genética) para ser trabajados de manera independiente por los estudiantes y posteriormente discutido con profesores (Kirkpatrick, Orvis, y Pittendrigh, 2002) y la implementación de una unidad didáctica conformada por el videojuego Misión Biotech (*MBt*) y un conjunto de materiales (un plan de lecciones, actividades para trabajar en grupo, orientaciones para discusiones, prácticas de laboratorio y diapositivas y videoclips) para enseñar sobre la biología de los virus, los procesos moleculares implicados en la extracción de ADN y la técnica de PCR (Eastwood y Sadler, 2013).

Por su parte, Montgomery (2004) y Hark (2008) presentan la experiencia de usar el **aprendizaje a través del servicio** con estudiantes de educación superior. El primer autor se concentra en presentar el trabajo comunitario que hacen estudiantes de varias carreras universitarias en el marco de un curso sobre Biotecnología y aplicaciones biotecnológicas utilizando actividades como la reflexión a partir de preguntas, conferencias, debates en grupo, elaboración de escritos y, la interacción con la comunidad, entre otras. Por su parte, Hark (2008) explicita que la estrategia de aprendizaje a través del servicio se centra en articular la educación superior y la secundaria (en compañía de profesores), para lo que los estudiantes universitarios de carreras

que no enfatizan en ciencias proponen proyectos sobre la enseñanza de la Biotecnología a estudiantes de secundaria a partir de temas e ideas tanto propias como sugeridas por sus profesores.

En el caso de Colombia en particular, podemos destacar la realización de proyectos pedagógicos con estudiantes de educación media (Melo et al., 2001; Bejarano y Basto, 2011; Delgado, 2012; Corporación Biotec, 2011), en las que se llevan a cabo experiencias de laboratorio y se profundiza en aplicaciones biotecnológicas.

Las investigaciones relacionadas con la enseñanza de la Biotecnología llevadas a cabo con profesores indican además que, los docentes de Biología o Biotecnología emplean estrategias tradicionales en su enseñanza.

Así, de acuerdo con Ocelli et al. (2014) los profesores de Biología o Biotecnología del último año de secundaria de instituciones públicas de la ciudad de Córdoba (Argentina) utilizan en su mayoría estrategias del tipo “tradicional”, es decir centradas en actividades como dictado, exposición, lectura de textos y resolución de guías de estudio en la enseñanza de la temática de organismos transgénicos. De acuerdo con las autoras, si bien algunos docentes comienzan a incorporar el desarrollo de contenidos asociados a la Biotecnología en sus clases, en general las estrategias que utilizan colocan a los estudiantes en un lugar de poca participación y ésta puede ser una de las explicaciones a las deficiencias conceptuales que presentan los estudiantes para definir qué son y cómo se elaboran los organismos transgénicos.

Los resultados previamente descritos son similares a los informados por (Borgerding et al., 2013), quienes señalan que a pesar que los maestros emplean varios métodos diferentes para enseñar temáticas de Biotecnología, entre las estrategias más utilizadas están la discusión directa del profesor, el uso de diapositivas y las conferencias, así como laboratorios, los cuales aparecen en segundo lugar y entre éstos se encuentran aquellos relacionados con: electroforesis en gel, inmovilización de enzimas, extracción de ADN y separación de proteínas. Según los autores, algunos maestros mencionaron además haber traído a sus clases artículos o simulaciones virtuales, y utilizar debates sobre temas como los organismos modificados genéticamente.

Identificamos así, que en general, las estrategias docentes mayormente utilizadas, como la resolución de guías, la presentación de diapositivas y la realización de prácticas de laboratorio, no propician la alfabetización científico – tecnológica mencionada por varios de los autores como finalidad de la enseñanza de la Biotecnología (Dunham et al., 2002; Steele y Aubusson, 2004; Dawson y Soames, 2006, Negrín et al., 2007; Pedrancini et al., 2007; Pedrancini et al., 2008; Dawson y Venville, 2009; Ocelli et al., 2011; Ocelli et al., 2012; Ocelli et al., 2014), en la medida



que no generan espacios de socialización de la historia de las aplicaciones biotecnológicas, de las relaciones entre estas aplicaciones y distintos escenarios sociales como el económico, el industrial, el político y el religioso, etc., ni tampoco el debate acerca de las controversias que las interacciones entre la Biotecnología y los distintos subsistemas sociales puedan generar.

De esta manera lo que observamos en nuestra revisión coincide con la afirmación de Cabo et al. (2005) quienes aseguran que en las aulas de clase de ciencias hacen falta estrategias de integración de cuestiones sociocientíficas en el currículo, así como desarrollar actividades que conduzcan a los estudiantes a razonar, argumentar y tomar decisiones sobre problemas sociocientíficos.

#### **2.4.5 Contenidos de enseñanza de la Biotecnología**

En Colombia los proyectos y propuestas que se han desarrollado con la intención de incluir la Biotecnología en los currículos de ciencias naturales han abordado temáticas similares, entre las cuales encontramos como temática común el cultivo de tejidos vegetales *in vitro* (Melo et al., 2001, Delgado, 2012, Grupo Bio-Educación, 2007), lo que concuerda con la realidad de nuestra nación, en la que la economía depende en gran parte del desarrollo y la innovación en la agricultura. Otras temáticas, relacionadas con la fitoquímica, la microbiología aplicada, la biología molecular y la citogenética (Melo et al., 2001) y la transformación de frutas y hortalizas, y bioprocesos aplicados en la producción de bio-insumos para la agricultura orgánica (Grupo Bio-Educación, 2007) también han sido abordadas.

A nivel internacional debe decirse que las temáticas y técnicas enseñadas con mayor frecuencia están relacionadas con la extracción y/o amplificación del ADN así como con la obtención de organismos genéticamente modificados (Steele y Aubusson, 2004; Acevedo, 2006; Dawson y Soames, 2006; Dawson y Venville, 2009; Eleizalde et al., 2010; Arroyo, 2011; Borgerding et al., 2013; Eastwood y Sadler, 2013), la ingeniería genética y la clonación (Dawson y Soames, 2006, Dawson y Venville, 2009), pruebas de ADN para paternidad y medicina forense (Dawson y Venville, 2009), mutaciones, principios básicos de genética (Steele y Aubusson, 2004) y cuestiones éticas asociadas a las aplicaciones de la Biotecnología (Dunham et al., 2002; Steele y Aubusson, 2004; Negrín et al., 2007).

Por otro lado, cabe señalar que algunas de las investigaciones llevadas a cabo con profesores de educación secundaria dan cuenta de los temas que los docentes piensan deberían estar incluidos en los planes de estudios de ciencias naturales. De esta forma, de acuerdo con Kidman (2009), los docentes en Australia piensan que los temas que se deberían abordar son: la definición de Biotecnología, genética humana, bioquímica de los microorganismos, secuenciación del ADN,

ingeniería genética, aplicaciones de la Biotecnología en la agricultura, la medicina, las ciencias ambientales y la industria, la biología molecular del cáncer, cuestiones bioéticas, y la biología molecular como disciplina (Kidman, 2009). Además, de acuerdo con Borgerding et al. (2013), los temas específicos de Biotecnología que los maestros sienten que los estudiantes deben conocer son: la secuenciación del ADN y las técnicas de PCR y ELISA, las aplicaciones de la biotecnología, fundamentalmente las que se mencionan en los medios de comunicación, las carreras profesionales relacionadas con Biotecnología y los procesos industriales biotecnológicos.

Podemos notar además un llamado de atención por parte de varios autores en cuanto a la necesidad de incluir las implicaciones sociales, éticas y económicas que rodean a la Biotecnología, presentándolas como cuestiones socio-científicas que hacen parte de la vida cotidiana y que pueden favorecer la alfabetización científico - tecnológica de los estudiantes (Dunham et al., 2002; Steele y Aubusson, 2004; Dawson y Soames, 2006, Negrín et al., 2007; Pedrancini et al., 2007; Pedrancini et al., 2008; Dawson y Venville, 2009; Ocelli et al., 2011; Ocelli et al., 2012; Ocelli et al., 2014).

Identificamos así que la introducción en la escuela de conceptos, técnicas y aplicaciones propias de la Biotecnología, tanto en el Viejo Continente, como en Norte América y Latinoamérica ha venido tomando fuerza en los últimos años, con la principal intención de que las nuevas generaciones comprendan los fundamentos científicos y tecnológicos de los últimos avances en esta materia y puedan participar en contextos que impliquen la reflexión en cuanto a las implicaciones de dichos avances y la toma de decisiones responsables, pero también con la idea de preparar a los jóvenes para la vida laboral, en la que una de las opciones puede ser desempeñarse en alguna de las profesiones relacionadas con la investigación biotecnológica.

#### **2.4.6 Estudios sobre percepciones, intereses y conocimientos sobre la Biotecnología en la escuela**

En el seguimiento a las publicaciones podemos evidenciar que el interés de varias de las investigaciones encontradas se centra en la percepción, actitudes y conocimientos sobre la Biotecnología de profesores y estudiantes tanto de educación básica primaria como de educación secundaria y media. Los resultados de dichas investigaciones coinciden en señalar que los estudiantes de los diferentes niveles tienen escasa conciencia, conocimiento o comprensión respecto de conceptos y procesos de la Biotecnología, lo que puede deberse a una inadecuada organización en la presentación de los contenidos en la escuela que no les permite entender la realidad actual y, por tanto, pensar, hablar, actuar científicamente, y además participar en debates públicos a partir de opiniones fundamentadas en conocimientos científicos (Dawson y Soames, 2006; Pedrancini et al., 2007; Pedrancini et al., 2008; Ocelli, Vilar y Valeiras, 2011). En

este sentido, Dawson y Venville (2009) señalan además que los argumentos de los estudiantes australianos de secundaria no tienen un nivel consistente con la meta de alfabetización científica del programa de estudios en que se basa su educación.

Éstas últimas afirmaciones coinciden con los resultados de otras investigaciones orientadas a conocer las creencias, preocupaciones y obstáculos de los docentes en cuanto a la enseñanza de la Biotecnología (Steele y Aubusson, 2004; Fonseca et al., 2012), según las cuales los profesores creen que la enseñanza de la Biotecnología es muy importante, pero encuentran varios obstáculos con respecto a ella, entre los cuales cabe mencionar la falta de materiales e infraestructura, la mala calidad de los libros de texto y las limitaciones en el manejo del tiempo relacionadas con la planeación de las actividades y su desarrollo. Curiosamente, y según los autores, la discusión de las implicaciones éticas y sociales de la Biotecnología es un desafío que los profesores evitan (Bryce y Gray, 2004), lo que coincide con lo que señalan Quse y De Longhi (2005) y Fonseca et al. (2012), para quienes, a pesar que los docentes de ciencias naturales coinciden en la necesidad de discutir estos aspectos con los estudiantes, esto no implica que realmente aborden problemas éticos en el aula, ya que esto puede verse comprometido por otros factores, como la organización del plan de estudios, el tiempo necesario para preparar y dar las clases, o la formación recibida durante el profesorado.

En cuanto al conocimiento del contenido de la Biotecnología como un obstáculo o preocupación por parte de los docentes, los resultados difieren entre unas investigaciones y otras. Así, Fonseca et al. (2012), señalan que, dada su preparación académica, los profesores se sienten competentes para enseñar Biotecnología; Steele y Aubusson (2004) indican que aunque los maestros sienten la necesidad de aprender más acerca de la Biotecnología, no reportan esto como un problema para su enseñanza, mientras que según Borgerding et al. (2013) los profesores manifiestan que una de sus preocupaciones más importantes radica en la falta de conocimiento de éstos contenidos, lo que coincide con lo reportado por Mweene et al., (2001), quienes señalan que los futuros profesores de primaria de Estados Unidos tienen una comprensión limitada de la Biotecnología y sus procesos relacionados (en particular sobre ingeniería genética y los alimentos modificados genéticamente).

En relación a lo anterior, y para el caso de Colombia, Valbuena (1998) llama la atención acerca del deficiente nivel de actualización de los docentes de Biología en ejercicio en cuanto a la Biotecnología, indicando que en un estudio realizado con un grupo de 26 profesores de Ciencias Naturales de Bogotá, se evidenció que más del 50% se presentaban dificultades a nivel conceptual en temáticas tales como: manipulación genética, técnicas de marcación de moléculas, marcadores moleculares, mapeo genético, sondas de ADN, clonación y tecnología del ADN

recombinante y también que más de la mitad de la población estudiada manifestó que nunca o tan solo algunas veces accedían a información de actualización en Biotecnología.

De otra parte, cabe señalar que mientras los docentes consideran apropiada la introducción de la Biotecnología en los planes de estudios del nivel secundario (Zeller, 1994) y (Türkmen y Darcin, 2007), Kidman (2009) pone de relieve que hay escasa investigación sobre los tópicos relacionados con la Biotecnología que interesan a los estudiantes que facilite su inclusión en los planes de estudios por parte de los docentes.

De manera particular, encontramos también propuestas para el estudio de las creencias sobre la Biotecnología de profesores de secundaria de Fonseca et al. (2012) y de estudiantes de secundaria de Klop y Severiens (2007). De acuerdo con Fonseca et al. (2012), a la hora de tomar decisiones que les permitan responder a eventos particulares de los entornos educativos, los maestros confían más en las creencias centrales de sus sistemas de creencias que en su conocimiento. Adicionalmente, y dado el carácter marcadamente multidisciplinario, así como la naturaleza polémica y controvertida de algunos temas de Biotecnología, la enseñanza de la misma inevitablemente conlleva a que los maestros tomen decisiones de acuerdo con las creencias que tienen sobre la Biotecnología y la educación biotecnológica, por lo que es necesario comprender tales creencias para determinar cómo y en qué medida modulan sus acciones en el aula.

#### **2.4.7 Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la Biotecnología**

A este respecto identificamos que son pocas las investigaciones que se han llevado a cabo, las cuales coinciden en plantear la importancia de conocer las estrategias didácticas y conocimientos que los docentes emplean a la hora de enseñar Biotecnología, con lo cual se podría mejorar la comprensión del proceso de enseñanza y aprendizaje de la Biotecnología, y a partir de allí dar pautas para su inclusión en el currículo y en los programas de formación docente. Identificamos además que las investigaciones difieren en las estrategias metodológicas utilizadas, las cuales describimos brevemente a continuación.

Moreland et al. (2006) llevaron a cabo su investigación acerca del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología a través de un estudio de caso con seis profesores de ciencias y tecnología de cuatro escuelas de secundaria de Nueva Zelanda. La investigación estuvo conformada por cuatro fases: el seguimiento a la planificación de clases; la elaboración conjunta entre los profesores estudiados y los investigadores de los materiales de clase; observaciones de aula; entrevistas con profesores y alumnos y; recolección de materiales utilizados y/o generados durante el proceso de enseñanza de la Biotecnología. Luego de hacer los análisis

correspondientes los investigadores sostienen que el PCK para la enseñanza de la Biotecnología está conformado por siete constructos, es decir, por el conocimiento de:

- naturaleza de la Biotecnología y sus características
- aspectos conceptuales, procedimentales, sociales y técnicos de la materia
- el currículo, sus metas y objetivos, así como sus programas específicos
- el aprendizaje del tema de los estudiantes, incluyendo sus conocimientos existentes, sus fortalezas y debilidades y su progresión en el aprendizaje
- las prácticas específicas de enseñanza y evaluación de la materia
- el papel del contexto
- el ambiente y la gestión del aula en relación con el tema (por ejemplo, la gestión de recursos, equipos y técnicas).

Por su parte, Garritz y Velásquez (2009) buscaron determinar el conocimiento base para la enseñanza de la Biotecnología de cuatro profesores mexicanos de Química y Biología de los niveles de secundaria y universitario, para ello construyeron de manera conjunta con los docentes estudiados un instrumento ReCo de la Biotecnología, el cual fue diligenciado por cada uno de los docentes estudiados de manera individual; los ReCo así obtenidos fueron posteriormente analizados a través del modelo de perfil conceptual de Mortimer, permitiendo a los autores señalar que durante la enseñanza de la Biotecnología los profesores establecen diversas relaciones ciencia – tecnología – sociedad, emplean múltiples definiciones de Biotecnología, y hacen uso de diferentes conocimientos y estrategias, lo que da cuenta de la existencia de distintas visiones epistemológicas, influenciadas por la experiencia, las creencias y las actitudes de los docentes. Los autores adicionan además cinco constructos a los reportados por Moreland et al. (2006), esto es, el conocimiento de: Cuestiones socio-científicas; la argumentación; el desarrollo histórico de los conceptos científicos; el modelado y; las tecnologías de la información y la comunicación.

Adicionalmente, debemos decir que en Colombia, en la Universidad Pedagógica Nacional, Roa (2016) desarrolló una investigación en la que hizo una revisión documental de las publicaciones nacionales e internacionales sobre la educación en Biotecnología de los últimos 30 años, para con ello generar análisis de los elementos que pueden configurar el conocimiento profesional del profesor de ciencias para la enseñanza de la Biotecnología en Colombia, teniendo en cuenta la complejidad de su conocimiento didáctico y las connotaciones que el conocimiento biotecnológico presenta para la sociedad en términos de las concepciones sobre lo vivo y la vida.

La revisión bibliográfica preliminar, deja ver que las investigaciones realizadas sobre la enseñanza de la Biotecnología son escasas –mucho más las relacionadas con el conocimiento del profesor-,

es decir, son pocos los estudios realizados con el fin de identificar algunas de las características del conocimiento profesional del profesor de aquellos profesores en ejercicio que están asumiendo la enseñanza de la Biotecnología, a partir de los cuales poder reconocer qué concepciones epistemológicas tienen los docentes acerca de la Biotecnología, qué materiales y estrategias didácticas están utilizando para su enseñanza, qué contenidos están seleccionando, cómo los están organizando, cómo los están evaluando y, qué relaciones con el contexto económico, político y ético, así como con otras disciplinas del conocimiento están estableciendo. Los resultados de estas investigaciones permitirían generar nuevo conocimiento que redundaría en la calidad de la educación en Biotecnología y en el aprendizaje de los estudiantes; aportarían información valiosa a los programas de formación docente y a la inclusión de dichos contenidos en los currículos escolares, fundamentada desde las experiencias en el aula de los maestros y finalmente contribuirían a la formación de estudiantes reflexivos, autónomos, responsables y capaces de tomar decisiones y participar en los debates de la cotidianidad.

### ***CAPÍTULO III: METODOLOGÍA***

En este capítulo describimos la metodología de la investigación, la cual fue configurada desde un paradigma interpretativo, buscando estudiar el Conocimiento sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá, sin la pretensión de establecer generalizaciones o leyes universales. Desde este marco epistemológico, acudimos al estudio de caso múltiple como estrategia de investigación. Nuestro estudio de caso estuvo constituido entonces por dos casos individuales, dos profesores que trabajan en colegios del sector oficial de Bogotá y enseñan Biotecnología en el nivel de educación media dentro del programa de Educación Media Fortalecida de las instituciones en que laboran.

La primera fase de la investigación consistió en la configuración de los casos individuales que conformaron el caso múltiple, por tal razón, en esta fase describimos el proceso de selección de la población de estudio. La segunda fase fue la obtención de los datos de investigación, en la cual nos referimos a las técnicas de recolección de información, así como a los procesos de diseño de los instrumentos empleados, tanto para obtener información acerca del CDC en acción, como del CDC declarativo y del Conocimiento sobre la Biotecnología. La tercera fase consistió en los procesos de sistematización de los datos de investigación, por lo que, describimos el tratamiento de los datos, dando cuenta de dos etapas de sistematización, la primera, haciendo uso de matrices desarrolladas a partir de procesos de análisis de contenido, que utilizamos en la sistematización del CDC en acción, del CDC declarativo y del Conocimiento sobre la Biotecnología, y la segunda, a través de procesos de representación del CDC en mapas. Cabe señalar que en esta etapa desarrollamos procesos de triangulación, que también son descritos. La cuarta fase fue el análisis de las representaciones (mapas del CDC) y el análisis de los resultados de la sistematización del Conocimiento sobre la Biotecnología, en la cual interpretamos los resultados obtenidos respecto al CDC en acción, el CDC declarativo y el Conocimiento sobre la Biotecnología de los profesores estudiados; el análisis interpretativo da cuenta de la estructura de los mapas de CDC obtenidos para cada caso, en términos de la descripción de sus componentes, las relaciones entre componentes y la direccionalidad y los niveles de complejidad de tales relaciones, para finalmente contrastar el CDC en acción y el CDC declarativo de cada profesor estudiado y, describir las relaciones entre el CDC y el conocimiento sobre la Biotecnología.

En el capítulo describimos también los aspectos éticos considerados.

### 3.1 PERSPECTIVA METODOLÓGICA

Como se ha puesto de manifiesto previamente de acuerdo con la revisión bibliográfica, a pesar del rápido desarrollo de la Biotecnología y su gran influencia en distintos sectores de la sociedad, son escasas las investigaciones encaminadas a indagar por el conocimiento profesional de los profesores que enseñan Biotecnología. A través de esta investigación buscamos comprender y describir de la manera más detallada posible la estructura y configuración de los conocimientos sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido Biotecnológico de dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá, en cuanto a las características de sus componentes, las relaciones entre tales componentes y, las relaciones entre su Conocimiento Didáctico del Contenido y su Conocimiento sobre la Biotecnología.

En este sentido, planteamos que nuestra investigación se enmarca dentro del **paradigma interpretativo**<sup>9</sup>, cuyo interés se centra en estudiar las situaciones desde su totalidad tal y como se desenvuelven naturalmente y, es por lo tanto apropiado para estudiar fenómenos de carácter social, al tratar de comprender la realidad circundante en su carácter específico (Cerdeña, 1991), para nuestro caso el Conocimiento sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá. Desde la perspectiva de la *hermenéutica heideggeriana*, entendemos además que lo que se interpreta tiene significado y que para descubrir tal significado es necesario analizarlo y describirlo usando presupuestos, miradas previas anticipadas y marcos conceptuales de referencia, por lo que la comprensión del significado es el resultado de realizar la interpretación de manera sistemática (Morse, 2003).

De esta manera, la estrategia o enfoque de investigación empleado, correspondió a un **estudio de caso**, un enfoque basado en la investigación empírica de un fenómeno contemporáneo en profundidad y dentro de su contexto de la vida real, apoyado en múltiples fuentes de información que generan datos que necesitan converger en una triangulación (Yin, 2009); organizado en torno a situaciones problema, que no son simples ni claras, sino que tienen una intrincada relación con contextos políticos, sociales, históricos y sobre todo personales (Stake, 1998), como ocurre en el caso del Conocimiento sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología.

---

<sup>9</sup> Entendemos por paradigma o postura epistemológica el conjunto de suposiciones de carácter filosófico a partir de las cuales nos aproximamos a la búsqueda del conocimiento, compartimos la noción de realidad y de verdad y del papel que cumple el investigador en esta búsqueda del conocimiento, al igual que la manera como asumimos al sujeto estudiado (Páramo y Otálvaro, 2006).



Acudimos a ésta estrategia, porque permite, además, estudiar temas en los que las teorías no existen o las existentes son inadecuadas; investigar los fenómenos desde múltiples perspectivas y no desde la influencia de una sola variable, así como, explorar en forma más profunda y obtener un conocimiento más amplio sobre el fenómeno estudiado (Chetty, 1996).

De acuerdo con Yin (2009), durante la investigación desarrollamos un *estudio de caso múltiple*, una estrategia que nos permitió el análisis de dos casos conjuntamente y en la que cada estudio de caso individual consistió en un estudio “completo”, que proporcionó evidencia convergente con respecto a los hechos y conclusiones para el caso múltiple; por lo que tanto los resultados de los casos individuales como los resultados del caso múltiple son parte importante del informe de la investigación.

Nuestro estudio de caso múltiple, estuvo constituido por dos casos individuales (Yin, 2009), dos profesores que trabajan en colegios del sector oficial de Bogotá y enseñan Biotecnología en el nivel de educación media. Así, para cada profesor tratamos de comprender detalladamente la estructura de su CDC y de su Conocimiento sobre la Biotecnología, a partir de la descripción de las características de los componentes al interior de cada tipo de conocimiento estudiado y de las relaciones entre tales componentes, así como entre ambos tipos de conocimientos, entendiendo a cada profesor como un caso individual, pero también como parte de un colectivo (Stake, 1994, p. 237), en la idea de entender mejor tales conocimientos en profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

Como veremos en los próximos apartados (ver numeral 3.3 Obtención de los datos de investigación), obtuvimos la información a través de diferentes técnicas e instrumentos, como la observación no participante de sus clases y diferentes cuestionarios, que nos permitieron indagar por su conocimiento sobre los estudiantes, los contenidos de enseñanza, las estrategias de enseñanza, la evaluación de contenidos asociados a la Biotecnología, los propósitos de enseñanza y los conocimientos sobre la Naturaleza de la Biotecnología y sus creencias sobre la Biotecnología, entre otros interrogantes que surgieron durante el desarrollo de la investigación.

### **3.2 FASE 1: CONFIGURACIÓN DEL ESTUDIO DE CASO MÚLTIPLE**

A continuación, describimos el proceso de selección de los dos profesores que hicieron parte de esta investigación.

### 3.2.1 Selección de los sujetos de estudio

En aras de estudiar el Conocimiento sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá, pensamos en escoger como casos de investigación a profesores de colegios oficiales, que lideraran algún tipo de proyecto de enseñanza de la Biotecnología, como el proyecto de Media Fortalecida con énfasis en Biotecnología, un proyecto propio de la institución o la asignatura de Biotecnología, posiblemente ofertada en la institución.

Fue así como, durante el segundo semestre del año 2015 nos comunicamos vía correo electrónico con la Dirección de Educación Media y Superior de la Secretaria de Educación de Bogotá (SED), quienes nos suministraron los nombres de los colegios distritales en los que se desarrollaban proyectos de Educación Media Fortalecida con énfasis en Biotecnología y que condensamos en la siguiente tabla:

NÚMERO	Localidad	COLEGIO	AREA	Oferta
1.	01-Usaquén	COL DIST TOBERIN	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología y pensamiento ambiental
2.	04-San Cristóbal	COL DIST SAN JOSE SUR ORIENTAL	Matemáticas, ingenierías y tecnologías de la información	Biotecnología
3.	04-San Cristóbal	COL DIST MANUELITA SAENZ	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Producción Biotecnológica de Material Vegetal
4.	07-Bosa	COL DIST ALFONSO REYES ECHANDIA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología
5.	07-Bosa	COL DIST CIUDADELA EDUCATIVA DE BOSA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología
6.	07-Bosa	COL DIST BOSANOVA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología
7.	08-Kennedy	COL DIST LA AMISTAD	Matemáticas, ingenierías y tecnologías de la información	Biotecnología
8.	08-Kennedy	COL DIST FRANCISCO DE MIRANDA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología
9.	10-Engativá	COL DIST LA PALESTINA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología
10.	10-Engativá	COL DIST REPÚBLICA DE COLOMBIA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología
11.	11-Suba	COL DIST RAMON DE ZUBIRIA	Biología, Física, Química y Ciencias Naturales	Biotecnología

**Tabla 3.** Colegios Distritales de Bogotá cuyo Proyecto de Educación Media Fortalecida tiene énfasis en Biotecnología. Fuente: Información proporcionada por la SED.

Una vez conocimos los nombres de estos 11 colegios, procedimos a ampliar la información acerca del proyecto de enseñanza de cada institución a través de los buscadores de internet, encontrando de manera interesante que en otros colegios de Bogotá también se enseñaba Biotecnología, entre ellos el Colegio CAFAM, el colegio IPARM, adscrito a la Universidad Nacional

de Colombia, y el Colegio Instituto Pedagógico Nacional, adscrito a la Universidad Pedagógica Nacional, que no fueron referenciados por la SED por no ser colegios distritales.

Con esta información, nos comunicamos con cada una de las instituciones anteriormente mencionadas vía correo electrónico, enviando una carta al correo institucional, en la que explicábamos los objetivos de la investigación que estábamos desarrollando y solicitábamos tener acceso al documento del proyecto institucional de Educación Media Fortalecida, en la idea de seleccionar los casos de estudio de la investigación.

Solamente los profesores de dos instituciones distritales (tabla 3) nos manifestaron su intención de participar en la investigación, esto es, los profesores del Colegio Distrital La Amistad y del Colegio Distrital República de Colombia, por lo que procedimos a acercarnos personalmente a dichas instituciones.

Durante la reunión con algunos docentes del Colegio República de Colombia intercambiamos información acerca de la enseñanza de la Biotecnología y establecimos observar las clases de dos profesoras del énfasis en Biotecnología, quienes constituirían dos casos de investigación. No obstante, y de manera inesperada una de las profesoras sufrió una situación de salud que la llevó a retirarse de la institución y por tanto a abandonar la investigación.

En el caso del Colegio La Amistad inicialmente nos comunicamos con la profesora de la Jornada Mañana, quien de manera expresa nos informó que era poca su experiencia en la enseñanza de la Biotecnología y nos recomendó visitar al profesor de la Jornada Nocturna, quien llevaba ya varios años liderando el proyecto de énfasis en Biotecnología en esta jornada. Atendiendo a la recomendación de la profesora, en las siguientes semanas nos comunicamos con el profesor, compartimos con él los objetivos de la investigación y acordamos que él constituiría un caso de la investigación, por lo que observaríamos algunas de sus clases con los estudiantes de ciclo 5, es decir con los estudiantes del grado décimo de la jornada de la noche.

De esta manera, logramos seleccionar dos casos, constituidos por dos profesores de dos colegios distritales de Bogotá en los que el Proyecto de Educación Media Fortalecida tiene énfasis en Biotecnología, quienes, de acuerdo con Stake (1994) acogieron nuestras indagaciones y estuvieron dispuestos a dar su opinión sobre determinados temas.

### 3.2.2 Descripción de los sujetos de estudio

La tabla 4 presenta información profesional de los participantes de la investigación. En la idea de asegurar su confidencialidad se cambiaron sus nombres por seudónimos, los dos profesores tienen postgrados a nivel de maestría y una experiencia docente superior a 25 años.

Caso	Nombre (seudónimo)	Formación Profesional	Experiencia Docente	Experiencia en la enseñanza de la Biotecnología
P.1	Alejandra	- Licenciado en Química y Biología - Magister en Docencia de la Química	33 años	4 años
P.2	Tomás	- Licenciado en Biología - Especialista en Multimedia Educativa - Magíster en Educación -Magíster en Dirección Universitaria	28 años	12 años

**Tabla 4.** Perfil profesional de los participantes del caso múltiple. Fuente: Elaboración propia.

Ambos docentes se desempeñan como profesores de Biotecnología en la institución en la que laboran en los grados del nivel de educación media, esto es, en los dos últimos años escolares antes de otorgar el título de bachiller, con la salvedad que en cada institución el énfasis en Biotecnología se desarrolla de manera diferente, como ampliaremos en la descripción de cada caso.

### 3.3 FASE 2: OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN

La estrategia de estudio de caso permite obtener los datos desde una variedad de técnicas, tanto cualitativas como cuantitativas; esto es, documentos, registros de archivos, entrevistas, observación de los participantes, instalaciones u objetos físicos (Chetty, 1996). Esta condición coincide con la sugerencia de Abell (2007) para quien, dada la complejidad que tiene el representar el PCK, los estudios que utilizan múltiples técnicas de investigación permiten comprender mejor el conocimiento docente.

A continuación, presentamos los aspectos relacionados con las técnicas e instrumentos de recolección de información empleados durante el desarrollo de la investigación. La presentación la hacemos teniendo en cuenta las técnicas e instrumentos que empleamos para recoger información respecto al CDC de la Biotecnología y respecto al Conocimiento sobre la Biotecnología. En el caso del CDC diferenciamos además las técnicas e instrumentos empleadas durante la investigación del CDC en acción y durante la investigación del CDC declarativo.

### 3.3.1 Obtención de información acerca del CDC

Como acabamos de mencionar, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, desarrollamos técnicas e instrumentos encaminados a obtener información tanto del *CDC en acción* como del *CDC declarativo* de los dos profesores estudiados, los cuales presentamos a continuación.

#### 3.3.1.1 Observación no participante

Siguiendo las recomendaciones de Gess-Newsome (2015) empleamos la técnica de la observación no participante para acceder al *CDC en acción* de los profesores de la investigación. En la observación no participante el observador está presente en el grupo, pero no pretende ser tomado como un miembro del mismo (Briones, 2001), sin embargo, buscará dar cuenta lo más exactamente posible de la realidad observada, es decir, de cómo es vivida por un determinado grupo, el cual le confiere un sentido propio y particular (Ander-Egg, 1995).

En este sentido, observamos algunas de las clases de los profesores P.1 (18 clases) y P.2 (8 clases), siguiendo la recomendación de Ander – Egg (1995) grabamos las clases tanto en audio como en video, con lo cual pudimos transcribir textualmente los diálogos ocurridos durante cada clase y también comprobar las *notas de campo* tomadas durante la observación. Los videos fueron grabados con una cámara de video JVC HDD con disco duro interno de 30 GB, un zoom óptico de 35X y ranuras para cable USB y tarjeta SD; las grabaciones de los audios por su parte, fueron obtenidas a través de una grabadora de voz digital SONY ICD-PX440 con una memoria incorporada de 4 GB y batería de larga duración, con capacidad de almacenamiento de hasta 96 horas de grabación mp3 a 8 kbps.

Cabe mencionar que la observadora fue la autora de esta tesis doctoral, quien se ubicó en una zona del salón de clases en la que lograra la visibilidad de todo el salón, y en la que además no interfiriera o interrumpiera con los procesos llevados a cabo por los profesores o estudiantes. En ocasiones la observadora se desplazó junto a la cámara de video, con el ánimo de capturar en video los eventos que ocurrían, por ejemplo, durante las prácticas de laboratorio. La grabadora de sonido fue ubicada en un pupitre o mesa del centro del salón, teniendo cuidado que ningún estudiante la fuera a apagar o manipular.

Cabe reconocer además que en ambos casos la relación con los profesores fue siempre muy tranquila y dialógica y que tanto ellos como los estudiantes actuaron de manera espontánea y natural durante las clases observadas, lo que nos permitió, aproximarnos a la realidad de los

procesos de enseñanza de la Biotecnología, y de esta manera aproximarnos al *CDC en acción* de los profesores investigados.

Señalamos además que la información obtenida a través de las grabaciones de las clases observadas se complementó con información obtenida a través de encuentros formales y no formales fuera de las clases. De esta manera, compartimos con los profesores espacios en el descanso y almuerzos, en los que discutimos respecto a las notas de campo, pero también compartimos experiencias pedagógicas y de historias de vida que nos permitieron establecer diálogos más profundos y completos durante las reuniones y entrevistas posteriores, en un ambiente que conllevó a la confiabilidad de los datos obtenidos.

También hubo encuentros complementarios, más formales, encaminados a complementar la información de las clases observadas. Así, y dado que, la profesora Alejandra hace parte de un grupo de profesores ocupado de la enseñanza de la Biotecnología en el nivel de educación media (profesores de la EME) del colegio República de Colombia IED, tuvimos la oportunidad de realizar cuatro reuniones con profesores de ese grupo. En cada reunión (de aproximadamente 90 minutos) llevamos a cabo una entrevista grupal semiestructurada, organizada alrededor de lo observado en pequeños fragmentos de las clases de la profesora. El propósito principal de estas reuniones fue profundizar y validar el primer nivel de sistematización. Vale la pena señalar que en la primera reunión discutimos acerca del contexto de la enseñanza de la Biotecnología en la institución, y que en las otras tres reuniones discutimos acerca de las observaciones de tres clases diferentes.

En el caso del profesor Tomás, quien se encarga de la enseñanza de la Biotecnología de manera individual en la Jornada Nocturna del colegio La Amistad I.E.D, tuvimos la oportunidad de conocer sus opiniones respecto a diferentes situaciones observadas en las clases a través de dos encuentros (de 120 minutos aproximadamente) en los que realizamos un conjunto de preguntas diseñadas con el objetivo de discutir acerca de sus estrategias y propósitos de enseñanza. Lo anterior teniendo en cuenta la sugerencia de Gess-Newsome (2015), en cuanto a desarrollar entrevistas mientras los profesores revisan los videos de sus clases, a través de las cuales explicitar lo que estaban pensando y lo que influyó en lo que hicieron y por qué, y de esta manera tener un mayor acercamiento al *PCK en acción*.

### **3.3.1.2 Instrumento Representación del Contenido (ReCo)**

Durante la investigación utilizamos el cuestionario denominado Representación del Contenido (ReCo), desarrollado por Loughran, Milroy, Berry, Gunstone y Mulhall (2001), ajustado a partir de las modificaciones del ReCo enriquecido y validado por Dueñas (2019). Con este instrumento

buscamos indagar el *CDC declarativo* de los profesores de Biotecnología desde la perspectiva de su carácter práctico, es decir buscando dar cuenta del conocimiento reflejado en su práctica respecto a los componentes del CDC y no del conocimiento que el profesor debería tener.

El instrumento ReCo ha sido ampliamente utilizado en estudios sobre el PCK/CDC (Aydin y Boz, 2013; Dueñas et al., 2016; Garritz y Velásquez, 2009; Ravanal y López-Córtés, 2016). El ReCo que nosotros utilizamos correspondió a un cuestionario constituido por 15 preguntas (Anexo 1), cada una de las cuales fue asociada a alguno de los componentes del CDC reconocidos en esta investigación, como aparece en la siguiente tabla.

Número de pregunta (s)	Componente del CDC
1, 8, 9	Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza
4, 5, 6	Conocimiento sobre los estudiantes
3, 7	Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza
10, 11	Conocimiento sobre la evaluación
2, 12, 13, 14, 15	Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza

**Tabla 5.** Las preguntas del ReCo y los componentes del CDC. Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar que el instrumento fue aplicado a los profesores a manera de *entrevista semiestructurada*, de forma tal que los investigadores (la tesista y el director de la tesis) realizamos las preguntas en una entrevista presencial, en la que la secuencia y formulación de las preguntas pudo variar en función del diálogo y en la que además, tuvimos libertad de realizar otras preguntas, orientadas a la ampliación y desarrollo de nuevas inquietudes o ideas relevantes (Ander-Egg, 1995) a fin de profundizar en las categorías de interés y poder interpretar y caracterizar de forma apropiada las respuestas.

En el caso de la profesora Alejandra, la entrevista fue realizada por la tesista, en el laboratorio de Biotecnología y tuvo una duración de 90 min. aproximadamente. La entrevista fue grabada en audio con la grabadora de voz digital SONY ICD-PX440, para luego transcribir y sistematizar la información proporcionada por la profesora.

En el caso del profesor Tomás, la entrevista fue realizada tanto por la tesista como por el director de la tesis, en la oficina del Doctorado en Educación de la Universidad Pedagógica Nacional y tuvo una duración de 120 minutos aproximadamente. La entrevista fue grabada en audio con la grabadora de voz digital SONY ICD-PX440, para luego transcribir y sistematizar la información.

Vale la pena mencionar que adicionalmente, obtuvimos información complementaria acerca de los CDC en acción y declarativo de los profesores estudiados a partir de la revisión de documentos

escritos tales como: los documentos que soportan los proyectos de Educación Media Fortalecida, planes de estudio institucionales, documentos abordados en clase, talleres, evaluaciones y cuadernos de los estudiantes, entre otros, los cuales nos permitieron encontrar información relacionada con las preguntas de investigación y en esa idea, apoyar la triangulación de las interpretaciones.

### **3.3.2 Obtención de información acerca del Conocimiento sobre la Biotecnología**

A partir de los objetivos de la investigación, desarrollamos un instrumento encaminado a obtener información acerca del Conocimiento sobre la Biotecnología de los dos profesores estudiados, el cual describimos a continuación.

#### **3.3.2.1 Instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología**

Una vez finalizamos la observación de las clases, procedimos a aplicar el instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología. Este instrumento (Anexo 2), con el que buscamos indagar, explicitar, reflexionar y discutir acerca del Conocimiento sobre la Biotecnología de los profesores investigados, fue construido a partir de un ejercicio investigativo representado en la revisión teórica (de los aspectos epistemológicos de la Biotecnología) y de antecedentes (de investigaciones sobre caracterización de creencias y conocimientos sobre la Biotecnología en diferentes poblaciones, incluida la de profesores), así como en su estructuración y posterior revisión y validación por pares académicos y expertos en la enseñanza de la Biotecnología.

Durante el diseño del instrumento tuvimos en cuenta elementos teóricos relacionados con la Naturaleza de la Ciencia (Alonso et al., 2007 y Adúriz – Bravo, 2005), la estructura sintáctica y sustantiva de una disciplina (Schwab, 1978), y con las creencias de los profesores sobre la Biotecnología (Fonseca et al., 2012; Kidman, 2009; Leslie y Schibeci, 2003 y Klop y Severiens, 2007); de forma tal que la construcción de las preguntas se realizó teniendo en cuenta las categorías y subcategorías que establecimos, conforman el Conocimiento sobre la Biotecnología y que presentamos en la siguiente tabla.



Categoría	Subcategorías
<b>Conocimiento sobre la Naturaleza de la Biotecnología</b>	Aspecto epistemológico: - Objeto, definición, estatus epistemológico - Estructura sustantiva de la Biotecnología: Conceptos básicos de la Biotecnología, organización discursiva de la Biotecnología, Perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología - Estructura sintáctica de la Biotecnología: Validación del conocimiento biotecnológico, Finalidad de la Biotecnología, Condiciones de producción del conocimiento biotecnológico
	Aspecto histórico: Historia de la Biotecnología
	Aspecto sociológico: Relaciones con otros sistemas de la sociedad
<b>Creencias sobre la Biotecnología</b>	Componente cognitivo
	Componente afectivo
	Intención de acción

**Tabla 6.** Categorías y subcategorías indagadas en el instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología.

La validación del instrumento fue realizada a partir de la validación de expertos y de la validación por un grupo piloto. Así, el instrumento fue sometido a consideración por dos expertos en el área<sup>10</sup>, a quienes se les envió vía correo electrónico un instrumento de validación y se les solicitó que revisaran las preguntas a profundidad y que luego relacionaran cada pregunta con la categoría y subcategoría del Conocimiento sobre la Biotecnología que consideraban estaba siendo indagada, solicitándoles además que justificaran sus respuestas. Las observaciones de los expertos llevaron a leves modificaciones en algunas de las preguntas del instrumento, con las que se mejoró su coherencia y pertinencia.

A partir de estos resultados se realizó una prueba piloto a 15 integrantes del grupo de investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias de la Universidad Pedagógica

<sup>10</sup> 1. Dra. Maricel Ocelli. Doctora en Ciencias de la Educación por la Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba. Profesora en Ciencias Biológicas, Bióloga y Magíster en Educación en Ciencias Experimentales y Tecnología por la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Actualmente se desempeña en la FCEFYN- UNC como Profesora Titular del Profesorado en Ciencias Biológicas. Es integrante del Grupo de Investigación EDUCEVA y su línea de investigación se encuentra en el campo de la Educación en Ciencias mediada por las Tecnologías de la Información y la Comunicación, la Modelización en la Educación en Ciencias y la Educación en Biotecnología. Con publicaciones en educación en Biotecnología.

2. Dr. Robinson Roa Acosta. Doctor en Educación por la Universidad Pedagógica Nacional. Magíster en Educación en Gestión y Evaluación Curricular de la Universidad Externado de Colombia y Licenciado en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional. Actualmente se desempeña en la Universidad Pedagógica Nacional como profesor investigador. Es integrante del Grupo de Investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias con experiencia investigativa de más de 10 años en el campo de la Educación en Biotecnología (Trabajo de grado, proyectos de investigación, dirección de trabajos de grado y tesis, y tesis doctoral en el campo). Con publicaciones en Educación en Biotecnología.

Nacional, esto es, futuros profesores de Biología y profesores en formación continua que asistían a las reuniones del grupo de investigación en el año 2017. Las respuestas obtenidas se aproximaron a las respuestas esperadas, con lo cual certificamos que el instrumento aplicado permitía indagar el conocimiento de los profesores sobre la Biotecnología de acuerdo a las categorías y subcategorías de análisis previamente establecidas.

El instrumento fue aplicado a los profesores P.1 y P.2 a manera de *entrevista semiestructurada* (Ander-Egg, 1995) a fin de profundizar en las categorías de interés y poder interpretar y caracterizar de forma apropiada sus respuestas. Dicha entrevista fue desarrollada en las instalaciones de los colegios donde laboran los profesores estudiados. En el caso de la profesora Alejandra, la entrevista fue realizada por la tesista y el director de la tesis, en un salón de clases y tuvo una duración de 60 min aproximadamente. En el caso del profesor Tomás, la entrevista fue realizada tanto por la tesista como por el director de la tesis, en el laboratorio de Biotecnología del colegio, y tuvo una duración de 90 minutos aproximadamente. En ambos casos la entrevista fue grabada en audio con la grabadora de voz digital SONY ICD-PX440, para luego transcribir y sistematizar la información proporcionada por los profesores.

### **3.4 FASE 3: SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN**

En la idea de caracterizar los componentes del Conocimiento sobre la Biotecnología y del CDC de los profesores de Biotecnología estudiados y de establecer las relaciones entre los componentes del CDC, desarrollamos un proceso de sistematización, en el que nos valimos de dos técnicas de análisis: a) El análisis de contenido y b) El enfoque enumerativo.

A continuación, describiremos los procesos de sistematización llevados a cabo.

#### **3.4.1 Sistematización de la información acerca del CDC**

Dado que la información acerca del CDC fue obtenida de manera diferente para el CDC en acción y el CDC declarativo, a continuación, presentamos los procesos de sistematización desarrollados para cada tipo de CDC determinado. En ambos casos, se siguió un procedimiento sistemático que constó de varias etapas y que aportó elementos para la fase 4.

En este apartado es importante hacer notar que a raíz del proceso de sistematización que describimos a continuación, identificamos el conocimiento sobre el contexto, como uno de los componentes del CDC para la enseñanza de la Biotecnología.

### 3.4.1.1 Sistematización del CDC en acción

El proceso de sistematización del CDC en acción siguió un procedimiento que consistió de varias etapas. Primero, las grabaciones de las clases se transcribieron en su totalidad, realizando varias lecturas para obtener una visión general de cada clase. Luego, las transcripciones fueron sistematizadas a través de la técnica de *análisis de contenido*. Una técnica que de acuerdo con Krippendorff (1990), está destinada a formular, a partir de ciertos datos, inferencias reproducibles y válidas que puedan aplicarse a su contexto (p. 28), y que según Valbuena (2007), “se caracteriza por describir objetiva y sistemáticamente la información, definir claramente los criterios para establecer las categorías y las unidades de información, descomponer o fragmentar el material de observación en unidades de información con sentido independiente, transformar la información en datos aislables susceptibles de ordenarse en categorías y, utilizar procedimientos de análisis reproducibles por otros investigadores, de tal forma que los resultados puedan ser verificados” (p. 313).

En este orden de ideas, cada transcripción se dividió en unidades de información, que correspondieron a segmentos de la clase en los que evidenciamos la integración de dos o más componentes del CDC; y a los que de acuerdo con Park y Oliver (2008) denominamos *episodios*. De esta manera, cada episodio fue considerado como “una unidad analítica que focaliza la atención en algún aspecto particular de la enseñanza” (Ministerio de Educación de Chile, 2007, p.5), en la que se hace evidente la presencia de dos o más componentes del CDC, que se relacionan entre sí. Las categorías de análisis correspondieron a los componentes del CDC.

Atendiendo a la técnica de análisis de contenido, para cada episodio realizamos una descripción detallada en dos matrices de sistematización.

En la primera matriz de sistematización tuvimos en cuenta los siguientes criterios: (a) código, (b) episodio (transcripción del mismo), (c) síntesis del episodio mediante formulación de proposición (d) categorías de análisis (componentes del CDC) presentes en la unidad de información y (e) subcategorías presentes (para más información, ver el Anexo 3). Esta matriz tuvo como finalidad la identificación de los episodios (unidades de información) y la identificación de las categorías de análisis que aparecían en el episodio.

La formulación de la síntesis de cada unidad de información (columna c) derivó principalmente de la lectura de cada episodio, pero en algunas ocasiones se complementó con notas de campo, entrevistas no estructuradas y documentos relacionados con la unidad de información. Durante la elaboración de la matriz de cada clase los autores comparamos y discutimos la selección de los episodios, así como las categorías y subcategorías de análisis identificadas, hasta llegar a

acuerdos que se concretaban en una proposición que sintetizaba lo discutido al respecto, lo cual constituyó un ejercicio de validación.

La segunda matriz de sistematización estuvo orientada a la identificación y caracterización de las relaciones entre los componentes del CDC en acción de los profesores. En esta matriz de sistematización presentamos entonces las relaciones entre pares de componentes del CDC que identificamos en cada uno de los episodios de las clases, así como la direccionalidad y complejidad de cada relación (Anexo 4).

Cada relación considerada surgió de lo interpretado para cada episodio, expresada como la interacción entre un componente de origen y un componente de destino (Raval y Flórez-Cortés, 2016), asumiendo como componente de origen, aquel componente del CDC que ocasiona o suscita la relación y como componente de destino aquel componente del CDC que es influenciado por el componente de origen.

Así por ejemplo durante la segunda clase que observamos de la profesora Alejandra (P1.C2) se establece el diálogo que aparece en el siguiente fragmento<sup>11</sup> del episodio 4 (P1.C2.4):

*“P.1: Quiero que me recuerden una cosa, ustedes no están obligados a saber todo lo que tienen ahí. ¿Cuál es el objetivo de...? ¿Cuál era el objetivo de ésta actividad?”*

*E.2: hacerla para repasar*

*P.1: ¿Perdón?*

*E.3: Organizar una información.*

*P.1: Organizar una información. Si no lo saben, profe no lo sabemos, no se preocupen que de igual forma tenemos que revisar todos esos temas y mirar hasta donde logramos entender y qué logramos entender de eso. Vuelvo y les repito, ustedes no están obligados a saber de todos los temas. El objetivo era identificar algunos hechos importantes que me permitieran reconocer que hay una Biotecnología y que se desarrolló esa Biotecnología, ¿está claro?”* (Clase P1.C2.4)

Fragmento en el que observamos una relación entre los Propósitos de enseñanza (P) y los Contenidos de enseñanza (C), en la que, (P) es el componente de Origen y (C) el componente de destino, dado que la profesora reitera que la intención de la clase radica en la comprensión del desarrollo de la Biotecnología por parte de los estudiantes, lo cual constituye un contenido de enseñanza.

---

<sup>11</sup> Dada la extensión de los episodios en los que hemos seccionado las clases, y que hemos tomado como unidades de información, en ocasiones, durante el texto citaremos fragmentos de los episodios, a fin de ilustrar las interpretaciones realizadas.

Adicionalmente, y siguiendo a Dueñas (2019), en la matriz establecimos el nivel de complejidad de cada relación. De esta manera, con base en una hipótesis de progresión construida a partir de la revisión bibliográfica para los componentes del CDC (que presentaremos en el Capítulo IV) se valoró la complejidad de cada relación, indicando si la relación tenía un nivel de complejidad inicial, con un valor de 1; un nivel de complejidad intermedio, con un valor de 2 o, un nivel de complejidad de referencia, con un valor de 3.

Conociendo todas las relaciones entre componentes del CDC presentes en cada clase se procedió a realizar un *enfoque enumerativo* (Le Compte y Preissle, 1993, citados por Ravanal y Flórez-Cortés, 2016) de las relaciones establecidas, lo que nos permitió conocer la frecuencia de cada una de estas relaciones.

El enfoque enumerativo se apoyó en el programa Excel de Microsoft Office y consistió básicamente en contabilizar, a partir de la segunda matriz de sistematización, el número de relaciones entre el mismo componente de origen y el mismo componente de destino presentes en cada clase y clasificar estas relaciones de acuerdo a su nivel de complejidad.

#### **3.4.1.2 Sistematización del CDC declarativo**

En el caso de las entrevistas semiestructuradas con las que aplicamos el instrumento Representación del Contenido (ReCo) a los profesores, el procedimiento fue el mismo, con la salvedad que lo que transcribimos fue el diálogo que ocurrió durante cada entrevista y que lo que designamos como unidad de información fue cada respuesta dada a cada pregunta del instrumento. En ese orden de ideas para cada profesor elaboramos 2 matrices de sistematización, la primera para identificar los componentes del CDC presentes en cada respuesta, y la segunda para establecer las relaciones entre componentes y los niveles de complejidad de tales relaciones.

La sistematización de cada unidad de información derivó principalmente de la lectura de cada respuesta, pero en algunos casos se complementó con notas de campo, entrevistas no estructuradas y documentos relacionados con la unidad de información. Durante la elaboración de la matriz, los autores comparamos y discutimos las categorías y subcategorías de análisis identificadas, así como la interpretación de las respuestas hasta llegar a acuerdos al respecto, con lo cual validamos las unidades de información y las relaciones entre componentes identificadas.

Vale la pena recordar que el proceso de sistematización que acabamos de describir dio paso a la elaboración de dos mapas del CDC para cada profesor: un mapa consolidado del CDC en acción y un mapa del CDC declarativo.

### **3.4.2 Sistematización del Conocimiento sobre la Biotecnología**

En el caso de las entrevistas semiestructuradas con las que aplicamos el instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología, realizamos un *análisis de contenido*, en el que las unidades de información fueron las respuestas dadas a cada pregunta del instrumento y las categorías y subcategorías de análisis, las presentadas en la tabla 6.

En este caso, solamente elaboramos una matriz de sistematización en la que para cada unidad de información consideramos los siguientes aspectos: (a) Código, (b) Transcripción de pregunta con respuesta (c) Categorías de análisis presentes (d) Subcategorías presentes y (e) síntesis de la descripción realizada (ver el Anexo 5).

La sistematización de cada unidad de información derivó principalmente de la lectura de cada respuesta, pero se complementó con notas de campo, entrevistas no estructuradas y documentos relacionados con la unidad de información. Durante la elaboración de la matriz los autores comparamos y discutimos las categorías y subcategorías de análisis identificadas, así como la interpretación, hasta llegar a acuerdos al respecto, lo cual constituyó un ejercicio de validación.

### **3.4.3 Triangulación de los datos**

Con el propósito de brindar confiabilidad a la investigación y garantizar la validez interna del estudio de caso, durante el proceso de sistematización de los datos efectuamos dos clases de triangulación: triangulación metodológica y triangulación de investigadores.

Atendiendo a la recomendación de Yin (2009), acudimos a la triangulación metodológica, consistente en la combinación de varios métodos de recogida y análisis de datos para acercarse a la realidad investigada (Denzin, 1989), buscando verificar si los datos obtenidos a través de las diferentes fuentes de información guardan relación entre sí; es decir, si desde diferentes perspectivas convergen las interpretaciones sobre el fenómeno objeto de estudio, para nuestro caso, los conocimientos sobre la Biotecnología y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

En este sentido, es importante señalar que durante la sistematización tuvimos en cuenta la

información de diferentes fuentes: las clases observadas y las entrevistas semiestructuradas, así como entrevistas no estructuradas, hojas de vida, documentos institucionales, cuadernos de estudiantes, guías, talleres, evaluaciones y encuentros orientados a discutir con los profesores acerca de diferentes cuestiones relacionadas con la investigación, datos que luego se compararon, como una manera de validar las interpretaciones de las matrices de sistematización.

Durante la sistematización de la información también llevamos a cabo una triangulación de investigadores, esto es, entre la tesista y el director de la tesis, quienes discutimos acerca de la delimitación de las unidades de información, la identificación de los componentes del CDC y del Conocimiento sobre la Biotecnología en las unidades de información, la formulación de proposiciones, las relaciones entre los componentes del CDC, la direccionalidad entre los componentes y el nivel de complejidad de cada relación hasta alcanzar consensos.

Es importante señalar, además, que algunas unidades de información nos presentaron dudas en cuanto a la interpretación, por lo que aprovechamos los encuentros con los profesores para discutir con ellos al respecto y concretar nuestra interpretación.

### **3.5 FASE 4: REPRESENTACIONES DE LOS CONOCIMIENTOS DIDACTICO DEL CONTENIDO Y SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA**

Teniendo en cuenta la sistematización de la información sobre el CDC en acción y sobre el CDC declarativo, respecto a los componentes del CDC, las relaciones entre tales componentes y la direccionalidad, frecuencia y complejidad de dichas relaciones, procedimos a representar los CDC de los profesores a través de lo que denominamos mapas del CDC. En este orden de ideas, respecto al CDC en acción para cada profesor presentamos un mapa para cada clase, y un mapa consolidado de todas las clases sistematizadas. Adicionalmente, para cada profesor presentamos el *mapa del CDC declarativo*, derivado de la sistematización de la entrevista semiestructurada con la que se aplicó el instrumento ReCo.

De otra parte, en cuanto al Conocimiento sobre la Biotecnología, realizamos un análisis interpretativo, que presentaremos en el capítulo de resultados a manera de narrativa.

#### **3.5.1 Representación del CDC de la Biotecnología a través de mapas**

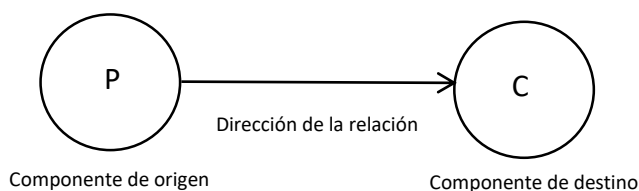
A continuación, describiremos los aspectos que, de manera general tuvimos en cuenta durante el proceso de construcción de los mapas con los que representamos el CDC de los profesores estudiados. Vale la pena recordar que, para el caso de nuestra investigación, tuvimos en cuenta

los componentes del CDC del modelo hexagonal de Park y Oliver (2008) (descrito en la página 46) y que, a partir de los datos de la investigación, no consideramos el componente autoeficacia, sino que incorporamos el componente de Conocimiento sobre el contexto.

### 3.5.1.1 Direccionalidad de las relaciones entre los componentes del CDC

De manera general podemos decir que el modelo de mapa de CDC que presentamos está compuesto por seis círculos. Cada uno de ellos representa un componente del CDC, identificado por letras así: propósitos de enseñanza (P), contenidos de enseñanza (C), el conocimiento de los estudiantes (CE), las estrategias de enseñanza (E), la evaluación (EV) y el contexto (CX).

Para representar la direccionalidad de la relación entre dos componentes nos valimos de flechas, cuya punta se dirige al componente de destino. Así, retomando el fragmento del episodio P1.C2.4 que presentamos en el apartado de sistematización de los datos de investigación (ver página 137), y en el que determinamos que había una relación en la que el componente Propósitos de enseñanza (P) era el componente de origen y que el componente Contenidos de enseñanza (C), era el componente de destino, establecemos la representación de esa relación de la siguiente manera:



**Figura 4.** Direccionalidad de las relaciones.

### 3.5.1.2 Hipótesis de Progresión para el CDC de la Biotecnología

Como ya hemos señalado Park y Chen (2012) asumieron que todas las relaciones entre los componentes del PCK tienen la misma fuerza, por lo que les asignaron 1 punto a todas las relaciones identificadas. A diferencia de ellas, nosotros codificamos las relaciones entre componentes del CDC con respecto a su nivel de complejidad, para esto, construimos una Hipótesis de Progresión que nos permitió valorar cada relación en un nivel de 1 a 3.

En relación a lo expuesto, cabe señalar que autores como Aydin y Boz (2013) y Park y Suh (2015), reportan la construcción de rúbricas para medir las relaciones entre componentes del PCK, señalando al mismo tiempo la importancia de estas mediciones (Aydin y Boz, 2013).



La construcción de la Hipótesis de Progresión que presentamos estuvo orientada tanto por los diferentes *modelos didácticos* que de acuerdo a los autores revisados resumen y dan sentido a las diferentes formas de enseñar ciencias (García, 2000; Porlán et al., 1998), como por el análisis documental de literatura relacionada con la enseñanza de la Biotecnología. Consideramos esta Hipótesis de Progresión una alternativa para entender y analizar de manera argumentada, explícita y reflexionada, el conocimiento didáctico necesario para enseñar contenidos escolares biotecnológicos.

Entendemos la Hipótesis de Progresión como una perspectiva epistemológica y metodológica, en la que se asume y caracteriza el conocimiento como diverso y procesual y factible de ser organizado desde los niveles más simples a los más complejos o deseables.

Como su nombre lo indica, organizamos la Hipótesis de Progresión desde una perspectiva progresiva que posibilita orientar y entender los procesos de cambio en cuanto al CDC de los profesores de Biotecnología, no desde la linealidad del proceso, sino por el contrario, a partir de una perspectiva flexible en la que son posibles ciclos o fluctuaciones propias de los procesos escolares (Martínez y Martínez, 2012).

Durante la construcción de la Hipótesis buscamos en bases de datos como REDALYC, Scielo, Dialnet, Pubmed y Springer Journal, artículos relacionados con la enseñanza de la Biotecnología, usando los descriptores “enseñanza de la Biotecnología”, “educación biotecnológica” y “didáctica de la Biotecnología” tanto en español como en inglés y portugués.

De todos los documentos encontrados (40), fueron seleccionados los que tenían relación con las categorías del CDC contempladas inicialmente en la investigación (20), de esta manera, cabe señalar que, dado que en un principio no consideramos el conocimiento sobre el contexto como un componente del CDC para la enseñanza de la Biotecnología, la hipótesis que construimos no incorpora el contexto como categoría del CDC. En este sentido cabe señalar que los niveles de complejidad de éste componente del CDC fueron emergentes al análisis, esto es, fueron emergiendo a partir del análisis de las unidades de información, pero siempre en un interjuego con el marco teórico de la investigación. De acuerdo con lo anterior, planteamos que la construcción de una Hipótesis de Progresión para el componente conocimiento sobre el contexto, a partir de la revisión de la literatura al respecto, podría constituirse en una futura investigación que aportaría valiosa información al estudio del CDC de profesores de Biotecnología.

Durante la construcción de esta Hipótesis de Progresión la información de los documentos seleccionados fue sistematizada de acuerdo a dos criterios: las categorías del CDC y, tres niveles

de complejidad establecidos desde una perspectiva simple a una compleja. Dichos niveles se corresponden principalmente con los niveles de formulación sobre el modelo didáctico personal propuestos por Porlán et al. (1998), de la siguiente manera: un nivel inicial o tradicional (complejidad 1), un nivel intermedio o tecnológico (complejidad 2) y un nivel de referencia o alternativo (complejidad 3), propuesta que complementamos a partir de elementos de otras investigaciones (García, 2000; Rivero y Porlán, 2002; Valbuena, 2011; Reyes y Martínez, 2013; Obregoso, Vallejo y Valbuena, 2013 y Dueñas, 2019).

Vale la pena señalar, que, teniendo en cuenta los postulados que establecimos para cada nivel de complejidad, designamos para el nivel inicial la denominación de **Perspectiva de producción técnica**, para el nivel intermedio la denominación de **Perspectiva de producción tecnológica fundamentada** y para el nivel de referencia la denominación de **Perspectiva socio-crítica de la producción**, tal y como podemos apreciar en la siguiente tabla.

La tabla 7 sintetiza la hipótesis de progresión para el CDC de la Biotecnología, describiendo para cada categoría de análisis, los respectivos niveles que la conforman.

Categoría CDC		Nivel de Complejidad	Nivel Inicial (1)	Nivel Intermedio (2)	Nivel de Referencia (3)
			<i>Perspectiva de producción técnica</i>	<i>Perspectiva de producción tecnológica fundamentada</i>	<i>Perspectiva socio-crítica de la producción</i>
Contenidos de enseñanza	Referente epistemológico		La Biotecnología como aplicación de técnicas, que sustentan una actividad económica productiva. La enseñanza de la Biotecnología está centrada en una producción técnica, desarticulada de sus fundamentos conceptuales. No hay complejización ideológica ni epistemológica de la Biotecnología. No se tiene en cuenta la lógica interdisciplinar y multidisciplinar de la Biotecnología.	La Biotecnología como uso integrado de conocimiento científico (biológico, biofísico, bioquímico, químico) y de otros campos del saber para obtener aplicaciones útiles y productivas. La enseñanza de la Biotecnología se orienta hacia la comprensión de contenidos conceptuales y procedimentales implicados en procesos productivos biotecnológicos. No hay complejización ideológica ni epistemológica de la Biotecnología. Se tiene en cuenta la lógica interdisciplinar y multidisciplinar de la Biotecnología.	La Biotecnología como tecnociencia cuya práctica implica relaciones CTS. La enseñanza de la Biotecnología está centrada en el análisis crítico de las implicaciones para la sociedad de la producción y los productos biotecnológicos. Hay complejización ideológica y epistemológica a través de problematización de la historia y el desarrollo de la Biotecnología, sus procesos y aplicaciones. Se tiene en cuenta la lógica interdisciplinar y multidisciplinar de la Biotecnología.
	Contenidos conceptuales		Datos y hechos biológicos y químicos desarticulados entre sí y asociados a fenómenos particulares de los seres vivos (metabolismo, reproducción biológica, transmisión y expresión de información	Conceptos y algunas relaciones entre ellos, las cuales posibilitan la comprensión de fenómenos biológicos y químicos (metabolismo, reproducción biológica, transmisión y expresión	Conceptos de ciencias como la Biología y la Química y las redes conceptuales que conforman, posibilitando la comprensión de fenómenos implicados en los procesos biotecnológicos

	genética, entre otros) y a procesos biotecnológicos (fermentación, cultivos de tejidos vegetales <i>in vitro</i> , clonación, modificación genética de seres vivos, etc.). Información acerca de avances de las investigaciones biotecnológicas y su correlación con la comercialización.	de información genética, entre otros) implicados en los procesos biotecnológicos (fermentación, cultivos de tejidos vegetales <i>in vitro</i> , clonación, modificación genética de seres vivos, etc.). Conceptos de otros campos de saber, como la Economía y la Contabilidad relacionados con la comercialización de productos biotecnológicos.	(fermentación, clonación, cultivos <i>in vitro</i> , modificación genética de seres vivos, etc.). Conceptos de otros campos del saber, como la Economía y la Contabilidad. Los dilemas y las cuestiones sociocientíficas y sociotecnológicas que subyacen al progreso de la Biotecnología.
<b>Contenidos procedimentales</b>	Técnicas y procedimientos vinculados al uso o manipulación de seres vivos para la obtención de productos o servicios, las cuales son desarrolladas a modo de “receta”. No existe articulación entre los contenidos de enseñanza conceptuales y los procedimentales.	Se refieren al reconocimiento de un problema de investigación y a la construcción de hipótesis que pueden conllevar a la invención de diseños experimentales, vinculados con la generación o cualificación de productos y/o procesos relacionados con la Biotecnología, abordados a través de proyectos escolares en los que se relacionan los contenidos conceptuales con la productividad y la eficacia económica. Habilidades y destrezas procedimentales requeridas para el seguimiento, modificación y/o formulación de protocolos, que permitan optimizar procesos biotecnológicos. Existe articulación entre los contenidos conceptuales y procedimentales.	Involucran además de los contenidos del nivel anterior, la puesta en común de los resultados obtenidos en los proyectos escolares y la participación en debates, buscando el establecimiento de relaciones entre el análisis personal y grupal y la toma de decisiones argumentadas en relación con situaciones que implican el uso y la manipulación de seres vivos con fines productivos. Se pretende enseñar a articular la toma de decisiones en relación con la Biotecnología (sus procesos, sus productos, sus controversias) con sus habilidades argumentativas. Se articulan contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.
<b>Contenidos actitudinales</b>	No son importantes, por tanto, no son enseñados.	Interés de los estudiantes por el conocimiento científico, tecnológico y biotecnológico y, por el desarrollo de productos propios de la Biotecnología. Actitudes favorables hacia los procesos y productos de la Biotecnología. Actitudes positivas para el trabajo en grupo, que permitan optimizar los procesos de producción. Actitudes proactivas para la solución de problemas.	Motivar a los estudiantes a aprender Biotecnología y a generar actitudes críticas en cuanto a su actividad tecnocientífica y sus implicaciones en la sociedad. Participación socialmente responsable frente a problemáticas y situaciones controvertidas relacionadas con la Biotecnología. Posicionamiento crítico frente a los argumentos e intereses de los distintos actores involucrados en las cuestiones sociocientíficas que involucran a la Biotecnología.

<p><b>Propósitos de enseñanza</b></p>	<p>Dar a conocer a los estudiantes información de la Biotecnología a manera de datos y hechos. Emplear un lenguaje basado en el uso de términos científicos y tecnológicos asociados a los procesos biotecnológicos. Adquisición de habilidades para la ejecución eficaz y eficiente de las técnicas enseñadas.</p>	<p>Comprensión de conceptos articulados tanto biológicos, químicos y biofísicos como de la ingeniería y la economía, implicados en los procesos biotecnológicos. Desarrollo de habilidades y destrezas procedimentales requeridas para el seguimiento, modificación y/o formulación de protocolos, todo en pos de optimizar la producción. La aceptación de la Biotecnología a través de la incorporación de contenidos escolares actualizados. Adquisición de habilidades y competencias laborales o de emprendimiento en el campo de la Biotecnología.</p>	<p>Comprensión global de los procesos biotecnológicos, a partir del entendimiento de contenidos tanto conceptuales como procedimentales, actitudinales y epistemológicos, de una manera integrada, que conlleve más que a la aceptación de tales desarrollos, a su problematización. Formación de ciudadanos creativos, propositivos, críticos y situados en su realidad, que comprendan y valoren los nuevos conocimientos biotecnológicos y que puedan analizar sus ventajas, limitaciones y riesgos y, de esta manera, comprender las noticias, participar en debates y tomar postura frente a situaciones polémicas.</p>
<p><b>Estrategias de enseñanza</b></p>	<p>El profesor transmite información y los estudiantes la repiten. Las actividades que predominan son el dictado, la exposición, la lectura de textos y la resolución de guías de estudio con las que se dan a conocer datos, hechos y técnicas asociadas a la Biotecnología. Las actividades de tipo práctico, se desarrollan a través de instrucciones dadas por el profesor y buscan la inferencia de conceptos, un correcto manejo de instrumentos y la elaboración de productos biotecnológicos.</p>	<p>El profesor guía el desarrollo de la clase y los estudiantes participan activamente. Están orientadas al alcance de objetivos y entre ellas predomina el desarrollo de proyectos relacionados con la obtención de productos biotecnológicos que surgen de los intereses y problemas identificados por los estudiantes. Como ejemplos de actividades y estrategias podemos citar talleres, prácticas de laboratorio, construcción de modelos a escala, lecturas de divulgación científica, exposiciones y guías de trabajo. Los trabajos prácticos propenden por el planteamiento de hipótesis, la manipulación de instrumentos, la elaboración de productos biotecnológicos y la puesta en común de los resultados obtenidos.</p>	<p>El docente promueve la interacción y cede paulatinamente el control sobre el conocimiento a los estudiantes. El profesor es un facilitador del proceso de aprendizaje a través de distintas estrategias y actividades, que le permiten explicitar relaciones CTS, entre ellas los debates, los juegos de roles, el análisis de noticias de prensa y televisión, observación de videos, y los casos simulados. Se desarrollan actividades prácticas encaminadas al establecimiento de relaciones entre el análisis de los resultados y la toma de decisiones argumentadas en relación con situaciones que implican el uso y la manipulación de seres vivos con fines productivos.</p>
<p><b>Conocimiento de los estudiantes</b></p>	<p>Se tiende a considerar a los estudiantes páginas en blanco que reciben información (datos, hechos, procedimientos, técnicas) asociada a la Biotecnología por parte del profesor, por lo que no se tienen en</p>	<p>Se reconoce que los estudiantes tienen conocimientos previos acerca de la Biotecnología (por ejemplo sobre la clonación, las células madre, las vacunas, los organismos genéticamente</p>	<p>Se reconoce que los estudiantes tienen conocimientos previos acerca de la Biotecnología (por ejemplo, sobre la clonación, las células madre, las vacunas, los organismos genéticamente</p>

	cuenta ni sus conocimientos previos ni sus intereses.	modificados, entre otras temáticas), posiblemente originadas en su cotidianidad a través de la interacción con distintas fuentes de información, así como con la publicidad y diferentes programas de televisión, las cuales son identificadas por el profesor con la intención de lograr su sustitución por las correctas.	modificados, entre otras temáticas), los cuales, junto a sus intereses, son un referente continuo del proceso de enseñanza. Lo que se pretende no es sustituir los errores de los estudiantes por los conocimientos que se quieren enseñar, sino la evolución y el enriquecimiento de sus ideas. Los estudiantes son considerados agentes activos en la construcción de su propio conocimiento.
<b>Evaluación del aprendizaje</b>	Se da en forma de calificación (evaluación sumativa), generalmente mediante pruebas escritas que sirven para comprobar que los estudiantes han retenido los datos, hechos, procedimientos y técnicas informados y, de esta manera categorizar a los estudiantes.	Corresponde a una medida del grado de consecución de los objetivos. Se evalúan los contenidos conceptuales y las destrezas y habilidades procedimentales a manera de comparación entre pruebas iniciales y finales del nivel de conocimientos. Se evalúan la presentación de los productos biotecnológicos obtenidos durante la ejecución de los proyectos escolares, así como los correspondientes informes y sustentaciones. La evaluación no es considerada una fuente para regular el proceso de enseñanza, y puede ser sancionadora.	La evaluación es un proceso de seguimiento tanto de la evolución de los conocimientos previos de los estudiantes con relación a la Biotecnología, como de la actuación del docente y la planeación en general (formativa), a través de la información que suministran diversas fuentes como la autoevaluación y la coevaluación, así como sus cuadernos, sus informes, sus trabajos y su participación en debates y plenarios.


**Tabla 7.** Hipótesis de progresión sobre el CDC Biotecnológico. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.1.3 Representación de la frecuencia y los niveles de complejidad de las relaciones

Dado que, a diferencia de Park y Oliver (2008) y Park y Chen (2012), nosotros incorporamos la complejidad de cada relación en las matrices de sistematización, a través de su valoración mediante la Hipótesis de Progresión, nos vimos en la necesidad de calcular el nivel de complejidad promedio de cada clase de relación encontrada.

Así, la frecuencia y la complejidad promedio de cada relación se presentaron en los mapas a través de números sobre las flechas con las que representamos las direcciones de las relaciones entre los componentes del CDC (ver figura 5). Sobre cada flecha escribimos la frecuencia de la relación, esto es, el número de veces que encontramos ese tipo de relación y, adicionalmente, entre paréntesis, escribimos el número de su valor de complejidad. En el caso de que

encontráramos relaciones del mismo tipo, pero de diferente valor de complejidad, separamos los números a través de un signo punto y coma.

El valor de la complejidad promedio se obtuvo multiplicando la frecuencia de cada relación por su nivel de complejidad, en el caso en el que para un mismo tipo de relación se observaran niveles de complejidad diferentes, sumamos los resultados de las multiplicaciones de la frecuencia por su valor de complejidad, dividiendo este resultado entre el número de relaciones del mismo tipo, obteniendo en cada caso un valor de complejidad promedio que ubicamos en el mapa dentro de un símbolo .

En la idea de asociar cada valor de complejidad promedio así obtenido con un nivel de complejidad de la Hipótesis de Progresión, establecimos los rangos de resultados de los promedios que aparecen en la tabla 8, cabe señalar que éstos son rangos cerrados, con lo cual eliminamos la incertidumbre en la designación de los niveles de complejidad promedio. Para ello, matemáticamente, se tuvo en cuenta un margen de error alrededor de los valores 1, 2 y 3 establecidos para los tres niveles de complejidad en la Hipótesis de Progresión y se calcularon los valores dentro del intervalo [1, 3]. Adicionalmente, y buscando visualizar más fácilmente el nivel de complejidad total de cada tipo de relación utilizamos flechas de diferente grosor y guion, esto es, flechas de diferentes estilos, como se puede observar en la tabla.

Nivel de complejidad (rango de valores de los promedios)	Estilo de flecha
Inicial [1 – 1,67]	----->
Intermedia [1,68 – 2,34]	—————>
Referencia [2,35 – 3]	—————>

**Tabla 8.** Niveles de complejidad y estilos de flecha que los representan

La figura 5 ilustra la forma en la que representamos la frecuencia y la complejidad de las relaciones en los mapas. Atendiendo a la relación Propósitos de enseñanza (P) a Contenidos de enseñanza (C), que establecimos en el ejemplo que describimos en la página 138, en lo que sigue mostraremos, también a manera de ejemplo, la forma como representamos la frecuencia y el nivel de complejidad de la relación Propósitos a Contenidos de enseñanza que notamos en la segunda clase de la profesora Alejandra (clase P1.C2).

Durante esta clase encontramos que en cuatro episodios apareció la relación P a C, tal y como podemos apreciar en la siguiente tabla:

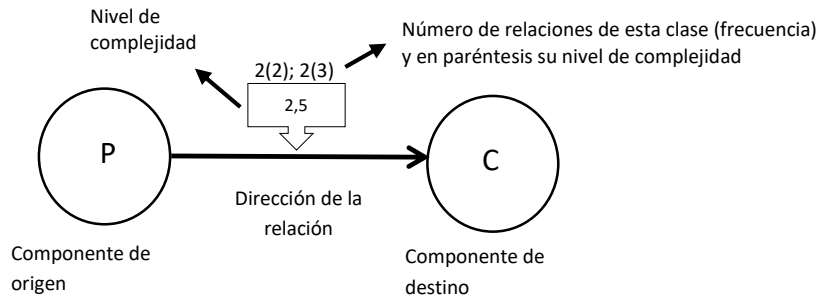
Episodio	Fragmento del episodio	Componente de origen	Componente de destino	Nivel de complejidad
P1.C2.1	<i>P.1: Para el día de hoy, cada grupo debió haber hecho pues la línea del tiempo, y hacer la presentación, vamos a hacer, vamos a dividir el trabajo nuestro en dos momentos, el primer momento es el momento en que todos vamos a conocer el trabajo de los demás y de acuerdo al documento y a los documentos que hemos venido trabajando...</i>	P	C	2
P1.C2.4	<i>“P.1: Quiero que me recuerden una cosa, ustedes no están obligados a saber todo lo que tienen ahí. ¿Cuál es el objetivo de...? ¿Cuál era el objetivo de ésta actividad? E.2: hacerla para repasar P.1: ¿Perdón? E.3: Organizar una información. P.1: Organizar una información. Si no lo saben, profe no lo sabemos, no se preocupen que de igual forma tenemos que revisar todos esos temas y mirar hasta donde logramos entender y qué logramos entender de eso. Vuelvo y les repito, ustedes no están obligados a saber de todos los temas. El objetivo era identificar algunos hechos importantes que me permitieran reconocer que hay una Biotecnología y que se desarrolló esa Biotecnología, ¿está claro?”</i>	P	C	3
P1.C2.7	<i>P.1: ¿Recuerdan cuál era el objetivo de la clase, de esta actividad? E.2: Organizar P.1: Organizar y reconocer esos hechos importantes, no necesariamente me los tengo que saber, ojo, no saber no quiere decir que no tenga la posibilidad de tener un lenguaje y de exponer, así no sepa el contenido bien, ni sepa explicar, pero por lo menos de pronunciar, de leer bien las palabras, plásmido, no un plasmido, eso es de lectura</i>	P	C	2
P1.C2.8	<i>P.1: [...] vamos a empezar a construir nosotros mismos nuestra línea del tiempo, así que no vamos a terminar hoy, ¿cómo la vamos a construir?, la vamos a empezar a construir desde la época del neolítico, vamos a empezar a construir esa línea del tiempo, profundizamos en el tema, luego pasamos al siguiente</i>	P	C	3

**Tabla 9.** Frecuencia y niveles de complejidad de la relación P a C en la clase P1.C2

La información de la tabla 9, quedaría representada en los mapas como se observa en la figura 5, en la que notamos que en la clase P1.C2 hubo cuatro relaciones de este tipo (frecuencia), dos de complejidad 2 y dos de complejidad 3, con lo que al realizar la siguiente operación:

$$[2(2) + 2(3)]/4 = 2,5$$

Nos da como complejidad promedio un valor de 2,5. Dado que este valor se encuentra dentro del rango de 2,35 a 3, indicamos que corresponde a un nivel de complejidad promedio de referencia, el cual representamos a través de una flecha gruesa y de guion continuo.



**Figura 5.** Representación de la frecuencia y los niveles de complejidad de las relaciones

Como hemos mencionado previamente, para cada profesor realizamos varios mapas: los mapas de cada clase sistematizada y el mapa consolidado de las clases sistematizadas, que nos permitieron analizar su CDC en acción, y un mapa del CDC declarativo, obtenido a partir de la sistematización de las respuestas al instrumento ReCo.

El mapa consolidado de cada profesor al que nos referimos se construyó a través de un ejercicio de síntesis representado en un mapa final, el cual se elaboró algorítmicamente, a partir de la suma de las frecuencias de las relaciones encontradas en las clases sistematizadas y del cálculo de la complejidad promedio de cada clase de relación, de la misma manera que acabamos de ilustrar.

### 3.6 ASPECTOS ÉTICOS

Respecto a los aspectos éticos de la investigación es importante señalar, que una vez acordamos con los profesores Alejandra y Tomás su participación en la investigación, procedimos a comunicarnos con las directivas de ambos colegios para socializar los objetivos y metodología de la investigación y al mismo tiempo solicitar su autorización en cuanto al ingreso de la tesista junto a la cámara de video y la grabadora de voz a los salones de clase, de forma tal, que contamos con el aval tanto para la obtención de los datos de investigación como para la mención del nombre del colegio.



Adicionalmente, cabe señalar, que antes de dar inicio a las observaciones de las clases, tuvimos una reunión de aproximación y sensibilización con los estudiantes, en la que les presentamos los objetivos de la tesis, los propósitos y alcances de las grabaciones, así como el papel de la observadora dentro del salón de clases. En el caso de la profesora Alejandra, entregamos a cada estudiante el formato de consentimiento informado para menores de edad (Anexo 6) y les solicitamos que lo devolvieran firmado por sus acudientes al siguiente día, antes de iniciar las grabaciones, lo anterior dado que los estudiantes a los que ella enseña Biotecnología son jóvenes menores de 18 años y su participación en las grabaciones debe ser autorizada por sus padres o acudientes.

En el caso del profesor Tomás, entregamos a cada estudiante el formato de consentimiento informado para estudiantes (Anexo 7) y les solicitamos que lo leyeran y firmaran durante esa misma reunión, lo anterior ya que el profesor trabaja en la jornada nocturna, y sus estudiantes eran mayores de edad, por lo que no necesitaban autorización de sus padres o acudientes.

Tanto el profesor Tomás como la profesora Alejandra también firmaron los consentimientos informados (Anexo 8), en los que dan cuenta de su participación de manera voluntaria en la investigación y de su autorización para la grabación de las clases, así como para la recolección de datos a través de otras técnicas como entrevistas y cuestionarios. Cabe resaltar que dentro de los consentimientos informados se aclaró que tanto los estudiantes como los dos profesores tienen derecho a conocer toda la información obtenida a través de la investigación y, a conocer y avalar el informe final y en ese sentido, a solicitar la omisión de la información con la que no estén de acuerdo.

## ***CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS***

En este capítulo presentamos los hallazgos en relación con el CDC en acción, el CDC declarativo y los referentes sobre la Biotecnología de cada uno de los profesores estudiados, para finalmente presentar la discusión acerca de las relaciones entre el conocimiento sobre la Biotecnología y el CDC de los profesores Alejandra y Tomás.

En este sentido, inicialmente presentamos el caso de la profesora Alejandra, en cuanto algunos aspectos relevantes de su formación profesional y de su trayectoria laboral, así como, de su contexto institucional; luego nos referimos a las interpretaciones respecto a su CDC en acción, destacando la descripción de lo que ocurrió a lo largo de las clases respecto a las categorías de sistematización. En este sentido, cabe señalar que inicialmente y en la idea de presentar a manera de ejemplo la forma en la que representamos e interpretamos la estructura del CDC en acción, describimos el mapa de la primera clase de la profesora Alejandra (clase P1.C1), y luego, la interpretación del mapa que sintetiza el CDC en acción de la profesora Alejandra de acuerdo a las 12 clases sistematizadas. Acto seguido, nos referimos a los hallazgos respecto al CDC declarativo de la profesora, y luego a los resultados en cuanto a su conocimiento sobre la Biotecnología.

De igual manera, presentamos el caso del profesor Tomás, así, describimos su trayectoria académica y laboral, así como su contexto institucional, y luego nos referimos a su CDC en acción, a su CDC declarativo y a su conocimiento sobre la Biotecnología.

Finalmente presentamos un ejercicio de síntesis, en el que contrastamos de manera global los dos casos, en cuanto al CDC, tanto en acción como declarativo, así como acerca de sus referentes sobre la Biotecnología, y además, destacamos las relaciones que, desde nuestra interpretación, están potenciando o limitando la enseñanza de la Biotecnología, presentando al mismo tiempo explicaciones o cuestionamientos frente a ello, así como posibles implicaciones en la enseñanza de la Biotecnología en la escuela.

### **4.1 EL CDC DE LA PROFESORA ALEJANDRA**

A continuación, haremos referencia a los hallazgos en cuanto al CDC de la profesora Alejandra, los cuales derivan de la sistematización y análisis interpretativo de los datos de investigación. Inicialmente presentaremos el caso de la profesora Alejandra, en cuanto algunos aspectos relevantes de su formación profesional y de su trayectoria laboral así como del contexto de la enseñanza de la Biotecnología en el colegio República de Colombia I.E.D y de las clases que

observamos y sistematizamos, luego nos referiremos a las interpretaciones respecto a su CDC en acción y su CDC declarativo en términos de la frecuencia de los componentes, las relaciones entre componentes, los niveles de complejidad de tales relaciones y de los aspectos generales respecto a cada uno de los componentes.

#### **4.1.1 Descripción del caso 1**

En la idea de describir y dar a conocer al lector a la profesora Alejandra y el contexto de su práctica docente, en primera instancia, presentaremos el caso, el cual hemos denominado, caso P.1, para dar paso luego a la descripción del contexto en el que se realizaron las clases que observamos y sistematizamos.

##### **4.1.1.1 La profesora Alejandra (P.1)**

La profesora Alejandra es Bachiller pedagógico del Colegio María Auxiliadora de Soacha (1982); Licenciada en Biología y Química de la Universidad La Salle (2000) y Magíster en Docencia de la Química por la Universidad Pedagógica Nacional (2012), donde desarrolló la tesis titulada “La Química que se enseña en el aula: ¿verdades absolutas o modelos científicos?”.

Dada su formación como bachiller pedagógico, Alejandra se ha desempeñado como docente desde el año 1983. Durante sus primeros años de experiencia laboral, trabajó como profesora de primaria en diferentes instituciones educativas de carácter privado. En el año 1999, se vinculó a la Secretaría de Educación de Bogotá (SED), como docente en propiedad y empezó a trabajar en el Colegio República de Colombia IED en el año 2005 como docente de Biología y Química de la Jornada Tarde. A partir del año 2012, Alejandra hace parte de los docentes que conforman el Programa de Educación Media Especializada, hoy en día llamado Desarrollo Integral de la Educación Media en el Colegio República de Colombia IED.

Alejandra ha participado en diferentes cursos y talleres, entre ellos, el *Programa de formación de docentes CREATIC* del Ministerio de Educación Nacional; el curso *lombriz roja californiana: cría, manejo y producción*, del SENA; los Programas de Formación Permanente de Docentes (PFPD) titulados: *Imaginarios colectivos, lenguajes simbólicos y reconocimiento de ciudad* ofrecido por la Universidad Santo Tomás y, *El experimento como recurso para la enseñanza de las ciencias naturales* de la Universidad Nacional de Colombia; el curso *Cultivos Hidropónicos* de la Universidad de La Salle y; los diplomados en *Didáctica de las Ciencias Naturales con elementos de Biotecnología*, de la Universidad Nacional de Colombia y, *Saberes tecnmediados de niños, niñas y jóvenes*, realizado dentro del marco del Proyecto: Biotec: Ciencia, Tic y Ecoambiente. Durante el año 2016, año en el que obtuvimos la información del caso, la profesora adelantó el

diplomado *Biotecnología para profesores*, ofrecido por la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC).

Cabe resaltar también, que la profesora ha presentado diferentes ponencias tanto en congresos nacionales e internacionales como en foros distritales organizados por la SED y que ha publicado diferentes trabajos relacionados con la socialización de estrategias y experiencias en la enseñanza de las ciencias naturales.

Entre las que podemos citar:

- Experimentación: herramienta para acercar a niños y niñas del ciclo dos al conocimiento científico. Ponencia presentada en el Foro-Feria Institucional Colegio República de Colombia, SED. (2011).
- Desarrollo de la competencia interpretativa en química a través del modelo didáctico comprensión ordenada del lenguaje COL. Ponencia presentada en el V Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias. (2011).
- Los cultivos *in vitro*: una cuestión socio-científica como herramienta para el desarrollo de competencias comunicativas. Ponencia presentada en el V Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias. (2011).
- Propuesta de trabajo práctico experimental desde niveles de apertura para la enseñanza de métodos volumétricos no convencionales. Ponencia presentada en el V Congreso Internacional de Formación de Profesores de Ciencias. (2011).
- Competencia interpretativa y habilidades de pensamiento. *Revista Lúdica Pedagógica*, 63: 152 – 156. (2012).
- Herramientas científico-tecnológicas para acercar a niños, niñas y jóvenes al desarrollo del pensamiento científico. Ponencia presentada en el XIV Encuentro Internacional Virtual Educa, Medellín – Colombia. (2013).
- La EME un sueño hecho realidad. Transformación en el tiempo. *Revista Internacional Magisterio Educación y Pedagogía*, 63: 54 – 63. (2013).

Lo anterior da cuenta del interés de Alejandra por complementar su formación profesional y al mismo tiempo mantenerse actualizada en cuanto a estrategias de enseñanza de las ciencias naturales encaminadas al desarrollo de competencias y habilidades de pensamiento científico, que involucren el trabajo experimental y el uso de las TIC.

Llama la atención, además, el interés particular de la profesora respecto al conocimiento biotecnológico y la enseñanza de la Biotecnología, lo cual se evidencia en los cursos realizados respecto a la lombricultura, los cultivos hidropónicos, y en los diplomados Didáctica de las

Ciencias Naturales con elementos de Biotecnología y, Biotecnología para profesores, el cual realizó en el año 2016, durante el proceso de observación y registro de las clases que hacen parte de esta investigación.

#### **4.1.1.2 El contexto institucional**

En el colegio República de Colombia I.E.D. se han implementado desde el año 2012 diferentes programas encaminados a la articulación de la Educación Media con la Educación Superior, por lo que actualmente se ofrece el énfasis en Biotecnología para los estudiantes de grado décimo y once<sup>12</sup>.

Es así como, en el año 2012 el colegio se incorpora al Programa de Educación Media Especializada (EME), una estrategia orientada por la SED, con la que, a través de la Resolución 2953 de 2011 se propuso intervenir los currículos de 100 colegios distritales de Bogotá con el objetivo de “Hacer posible que se construyan escenarios futuros de desarrollo para los jóvenes a nivel académico y laboral, a través del ejercicio de proyectos en temas o áreas de saber específicas para cualificar los procesos educativos a partir de la profundización”. De acuerdo con la propuesta, los jóvenes de los 100 colegios seleccionados debían profundizar en un área o campo del conocimiento (Matemáticas, Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Humanidades, Ciencias Empresariales, Lenguas y Educación Física), al aumentar de 6 a 10 horas semanales su intensidad horaria. En la idea de alcanzar este propósito los colegios participantes tuvieron que rediseñar su planteamiento curricular a partir del trabajo en conjunto con alguna Institución de Educación Superior (IES). En el caso del Colegio República de Colombia, la profundización se hizo en Ciencias Naturales y la IES acompañante fue la Universidad de la Salle.

Durante la administración distrital de los años 2012 a 2016, la SED modificó el proyecto EME y planteó el proyecto Educación Media Fortalecida y Mayor Acceso a la Educación Superior (EMF), cuyo objetivo fue “transformar y fortalecer la educación media distrital, mediante la consolidación de una oferta diversa, electiva y homologable con la educación superior que promueva la continuidad de los estudiantes en este nivel educativo, para generar en los estudiantes mayores oportunidades en el mundo socio – productivo”.

Dando continuidad a las acciones del proyecto EME, la SED buscó que las Instituciones de Educación Superior participaran en la revisión y transformación de los currículos para los grados

---

<sup>12</sup> En Colombia la educación media contempla los dos últimos grados previos a la obtención del título de bachiller (Ley 115 de 1994 art. 29), esto es décimo y once (10 y 11), y que los estudiantes de estos grados, tienen por lo general entre 15 y 17 años de edad.

10 y 11 de los colegios participantes, en los que, además de las asignaturas básicas de la educación media, fuera posible la oferta de asignaturas para la profundización en uno o varios de los seis campos de conocimiento definidos en el programa EME. Así mismo, buscó el reconocimiento y certificación de los créditos académicos de aquellos cursos de reconocida calidad ofrecidos en la educación media oficial, facilitando la homologación de cursos de educación media en programas de educación superior.

Atendiendo a lo anterior, y bajo el acompañamiento de la Universidad de la Salle, en el colegio República de Colombia IED, se hicieron las siguientes modificaciones: la estructura del currículo para la educación media se semestralizó y la jornada de los estudiantes pasó de 30 a 40 horas semanales, se reestructuró el Proyecto Educativo Institucional (PEI) y el Sistema de Evaluación (SIE) y se construyeron planes de estudio valorados en créditos académicos para su posterior reconocimiento en la educación superior.

A partir del año 2017, la SED volvió a modificar el proyecto EMF, dando paso al proyecto 1073, denominado Desarrollo Integral de la Educación Media, el cual considera como objetivo general “Promover estrategias que permitan el desarrollo integral de los jóvenes mediante la generación de mayores oportunidades de exploración, orientación y mejoramiento de competencias básicas, técnicas, tecnológicas, sociales y emocionales”; proyecto que ha sido acogido e implementado por el colegio República de Colombia IED desde el 2017 hasta la actualidad.

Teniendo en cuenta que las clases de Alejandra fueron grabadas durante el año 2016, se hace importante reiterar que en ese momento el proyecto de articulación que desarrollaba el colegio República de Colombia IED era el de Educación Media Fortalecida. Para ese año y dentro del programa de Educación Media Fortalecida, en el colegio República de Colombia IED se ofrecían 3 profundizaciones: **Ciencias Naturales con énfasis en Biotecnología**, Ciencias Económicas y Administrativas con énfasis en Gestión Empresarial y, Artes y Humanidades con énfasis en Comunicación, Arte y Diseño.

Para el caso particular de la profundización en Ciencias Naturales con énfasis en Biotecnología que se desarrollaba en el año 2016 podemos resaltar las siguientes características:

- El acompañamiento lo hacía la Universidad de La Salle, buscando que, al graduarse, los estudiantes obtuvieran créditos homologables en dicha universidad. A partir del acompañamiento de la Universidad y en un trabajo conjunto con los profesores del área de Ciencias Naturales del colegio de las jornadas mañana y tarde, se elaboró un documento marco que orientaría la profundización.

- El documento marco del énfasis en Biotecnología, hacía mención a varios enfoques pedagógicos: CTS, Educación para la Sostenibilidad, Educación para la Ciudadanía Planetaria y Aprendizaje Significativo, señalando finalmente que se ubican en el modelo Constructivista – Humanista.
- El énfasis estaba enmarcado en una educación por competencias.
- El programa se desarrollaba de manera articulada en las Jornadas Mañana y Tarde, para estudiantes de grados 10 y 11 de ambas jornadas, bajo el liderazgo de una coordinadora encargada de la organización curricular y las actividades propias del programa.
- Los estudiantes asistían a las clases en contra jornada, es decir, los estudiantes de la Jornada Mañana, asistían a las clases de la profundización en la tarde, de igual manera los estudiantes de la Jornada Tarde, iban a las clases por la mañana.
- Se consolidó un equipo de trabajo (denominado por ellos mismos como Docentes de la EME) conformado por docentes tanto de la Jornada Mañana como de la Jornada Tarde, y que asistían al colegio en una jornada intermedia de 9 a.m a 3 p.m.
- Antes de graduarse como bachilleres los estudiantes presentaban tanto a los profesores del énfasis como a sus compañeros de clase los resultados y las conclusiones de un proyecto de investigación.

En términos generales podemos decir que las tres profundizaciones del programa de la EMF para el año 2016 se desarrollaban en cuatro semestres, los estudiantes de décimo cursaban los semestres I y II, en los que se desarrollaban las etapas de *contextualización* y *fundamentación*; y los estudiantes de once los semestres III y IV, en los que se desarrollaban las etapas de *profundización* y *proyección*.

En este sentido, vale la pena señalar que la malla curricular del programa EMF estaba organizada en dos componentes principales: El Componente Disciplinar de cada profundización y el Componente de Base Común (ver tabla 10). Se llamó Componente de Base Común a los seminarios correspondientes al eje común para las tres profundizaciones, transversalizados por el proceso investigativo que los estudiantes debían desarrollar y presentar ante la comunidad educativa. El Componente Disciplinar estaba conformado por los saberes propios de cada una de las profundizaciones, para nuestro caso de interés, por los saberes de la profundización en Ciencias Naturales con énfasis en Biotecnología.

<b>COLEGIO REPÚBLICA DE COLOMBIA</b> <b>"Educación en valores para la convivencia y la productividad"</b> <b>EDUCACIÓN MEDIA FORTALECIDA</b> <b>"Experiencia de construcción colectiva"</b> <b>MALLA CURRICULAR - 2016</b>						
CICLO	IMPRONTA	EJE DE DESARROLLO	SEMESTRE	ÁREA DE CONOCIMIENTO	COMPONENTE DISCIPLINAR	COMPONENTE BASE COMÚN
CICLO QUINTO	PROYECTO PROFESIONAL Y LABORAL	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA CULTURA PARA EL TRABAJO	I semestre - 10° contextualización	Ciencias Naturales	. Fundamentos Básicos: La Química de la vida (4) . Introducción a la biotecnología (2)	. Metodología de la investigación I (2) . Construcción de significados (2)
				Ciencias Administrativas	. Introducción a la administración I . Contabilidad I	
				Artes y Humanidades	Sensibilización artística Exploración visual y técnica	
			II semestre - 10° Fundamentación	Ciencias Naturales	. Procesos biológicos: Estructura celular (4) . Edafología-Suelos (2)	. Metodología de la investigación II (2) . Construcción de significados (2)
				Ciencias Administrativas	. Introducción a la administración II . Contabilidad II	
				Artes y Humanidades	Lenguajes artísticos y del diseño. Creatividad y recursividad	
			III semestre - 11° Profundización	Ciencias Naturales	. Introducción a la Microbiología (2) . Introducción a la Química del carbono (4)	. Trabajo de Grado I (2) . Biotechnology and Environment (2)
				Ciencias Administrativas	. Mercadotecnia . Contabilidad de costos	
				Artes y Humanidades	Experimentación estética y contexto arte, diseño y cotidianidad	
			IV semestre - 11° Proyección	Ciencias Naturales	. Producción limpia bionegocio (2) . Introducción a la bioquímica (4)	Trabajo de Grado II (2) . Biotechnology and Environment (2)
				Ciencias administrativas	. Plan de negocio . Presupuesto	
				Artes y Humanidades	Proyección y Producción cultural	

**Tabla 10.** Malla Curricular Programa EMF – Año 2016. Fuente: Colegio República de Colombia

Respecto a los propósitos formativos, el documento marco del énfasis en Biotecnología hacía referencia al desarrollo de competencias, comunicativas, investigativas, científico tecnológicas, lógico matemáticas, ciudadanas y laborales; al desarrollo de habilidades básicas y analíticas de pensamiento; al desarrollo de una posición ética y crítica frente a los avances científicos y tecnológicos y la realidad del medio natural y social; y al fomento de la capacidad de emprendimiento en todos los campos de la vida como respuesta a los nuevos retos que plantea el entorno laboral y social, promoviendo al mismo tiempo la formación en valores.

De acuerdo con la dinámica evaluativa de la EMF del año 2016, los estudiantes debían cursar todos los seminarios de los cuatro semestres del énfasis, siendo la EMF considerada un área para efectos de promoción.



#### 4.1.1.3 El contexto de las clases de la profesora Alejandra

Las clases de Alejandra que grabamos y transcribimos (ver tabla 11) hicieron parte de dos seminarios del componente disciplinar de la malla curricular del énfasis en Biotecnología: **Introducción a la Biotecnología y Fundamentos Básicos: La Química de la vida**. Lo anterior, dado que la profesora orientaba ambos seminarios a los estudiantes del curso que fue seleccionado por ella para las grabaciones y, a que en ambos seminarios se abordaron contenidos asociados a la Biotecnología.

El grupo seleccionado estuvo conformado por 15 estudiantes (entre 15 y 17 años de edad) del curso 10-02 de la Jornada Tarde, quienes durante el año anterior eligieron el énfasis en Biotecnología como el énfasis de su Educación Media. Al ser de la Jornada Tarde, los estudiantes asistían en horas de la mañana a los seminarios del énfasis en Biotecnología, es decir en contra jornada.

Las clases observadas se realizaban los días lunes, jueves y viernes de 10:30 a.m a 12:10 p.m. y se desarrollaban en el laboratorio de Biotecnología del colegio, el cual a su vez estaba adaptado como salón de clases. Es preciso señalar que el laboratorio se encontraba dotado con materiales, equipos y reactivos suficientes para el desarrollo de diferentes prácticas de Biotecnología. De esta manera, el laboratorio contaba con una autoclave, dos estufas, dos incubadoras, un microscopio electrónico, 20 microscopios ópticos y material de vidrio como tubos de ensayo, cajas de Petri, erlenmeyers, beakers, probetas y pipetas, entre otros materiales e instrumentos.

En total observamos 18 clases, de las cuales sistematizamos 12, para un total de 13,27 horas.

La selección de las clases sistematizadas se hizo teniendo en cuenta que los contenidos de enseñanza estuvieran asociados a la Biotecnología y que en dichas clases se evidenciaran la variedad de estrategias de enseñanza empleadas por la profesora. La siguiente tabla presenta una síntesis de las clases sistematizadas.

Fecha – Duración	Seminario	Temática	Principales actividades y estrategias
P1.C1 Marzo 18 de 2016 1h 33min	Introducción a la Biotecnología	Hechos que han sido parte de la historia de la Biotecnología	1. Organización y distribución de roles en los grupos de trabajo 2. Presentación de los objetivos de la clase. 3. Lectura del documento de divulgación PRESENTE Y FUTURO DE LA BIOTECNOLOGÍA 4. Tarea: Presentar por grupos una línea del tiempo de la Historia de la Biotecnología

P1.C2 Abril 01 de 2016 1h 35min	Introducción a la Biotecnología	Historia de la Biotecnología	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Exposiciones por grupo de las líneas del tiempo</li> <li>2. Ejercicio de co-evaluación</li> <li>3. Elaboración de la primera parte de una línea del tiempo grupal sobre Historia de la Biotecnología</li> </ol>
P1.C3 Abril 04 de 2016 1h 28min	Fundamentos de la Química de la Vida	Fermentación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lectura y explicación de los componentes de V heurística sobre el tema de fermentación.</li> <li>2. Lectura en voz alta de apartes del documento de divulgación Fundamentos del Proceso de Fermentación en el Beneficio del Café, se subrayan palabras clave.</li> <li>3. Trabajo en grupo: Leer el material y responder algunas preguntas de la V heurística. Escribir qué es fermentación</li> </ol>
P1.C4 Abril 07 de 2016 1h 26min	Fundamentos Básicos: La Química de la Vida	Fermentación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lectura en voz alta de apartados del documento de divulgación Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café, construcción en el tablero de un mapa conceptual</li> <li>2. Trabajo individual: Construcción de un párrafo de 7 renglones sobre qué es fermentación</li> <li>3. Lectura en voz alta del apartado relacionado con nutrientes. Alimentación del mapa conceptual sobre fermentación.</li> <li>4. Trabajo en clase: Terminar el mapa conceptual.</li> </ol>
P1.C5 Abril 11 de 2016 1h 24min	Fundamentos de la Química de la Vida	Tipos de fermentación: productos iniciales y finales de cada una de ellos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trabajo en grupo: Cada grupo con base en la lectura del documento de divulgación Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café se va a inventar cómo presentar la respuesta a la pregunta ¿qué son los tipos de fermentación y cuáles son sus productos iniciales y finales?</li> <li>2. Revisión de algunos trabajos</li> <li>3. Tarea: La profesora asigna a cada grupo un alimento y solicita indicar cómo se realiza el proceso de fermentación de ese sustrato.</li> </ol>
P1.C6 Abril 15 de 2016 1h 21min	Introducción a la Biotecnología	Fermentación láctica y alcohólica	<p>Práctica de laboratorio – Según guía de laboratorio</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpieza y desinfección de los puestos de trabajo</li> <li>2. Fermentación láctica empleando yogurt comercial y bacilos</li> <li>3. Fermentación alcohólica empleando cáscaras de frutas y levadura.</li> </ol>
P1.C7 Abril 18 de 2016 40 min	Fundamentos Básicos la Química de la Vida	Fermentación láctica y alcohólica	<p>Continuación de la práctica de laboratorio – Según guía de laboratorio</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpieza y desinfección de los puestos de trabajo</li> <li>2. Observación de los resultados de la fermentación láctica, toma de apuntes y de fotografías</li> <li>3. Observación y descripción de la fermentación alcohólica</li> <li>4. Reunión de todos los estudiantes alrededor de la profesora para dar indicaciones acerca del grupo de Facebook y para organizar la práctica de la próxima clase</li> </ol>

P1.C8 Abril 22 de 2016 58 min	Introducción a la Biotecnología	Fermentación alcohólica, fermentación láctica. Clasificación de la Biotecnología por colores	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Observación de página web de la UNAM <a href="http://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/fermentacion/fermentación">http://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/fermentacion/fermentación</a> acerca de fermentación láctica y alcohólica.</li> <li>2. Evaluación: los estudiantes resuelven en una hoja la evaluación que hay en la página web, la profesora hace la corrección.</li> <li>3. Presentación del video de Youtube® clasificación de la Biotecnología autoría de la profesora</li> <li>4. Tarea: presentar una infografía explicando la clasificación de la Biotecnología por colores</li> </ol>
P1.C9 Abril 25 de 2016 1h 05min	Fundamentos Básicos: La Química de la Vida	Introducción al tema de Biomoléculas	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Lectura en parejas y luego en voz alta del documento Las moléculas: La base de la vida.</li> <li>3. Desarrollo de las actividades que aparecen en el documento.</li> <li>4. Lectura de las respuestas de los estudiantes, la profesora orienta la discusión.</li> <li>5. Lectura dirigida en voz alta del documento Las moléculas de la vida El temor a freír.</li> <li>6. La profesora acuerda una cita en la noche para discutir en Facebook sobre moléculas orgánicas e inorgánicas</li> </ol>
P1.C10 Mayo 6 de 2016 1h 10min	Introducción a la Biotecnología	Clasificación de la Biotecnología por colores. Biocombustibles Relaciones entre los colores de la biotecnología, las biomoléculas y la fermentación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comentario acerca de posibles salidas con los estudiantes a Corpogen y al Hemocentro</li> <li>2. Exposiciones infografías Los Colores de la Biotecnología (Coevaluación)</li> <li>3. Presentación diapositivas Biocombustibles.</li> <li>4. Tarea: Bajar el documento sobre biocombustibles de Argenbio que está publicado en el grupo del Facebook, para discutir el sábado en la noche</li> <li>5. Observación video Energías Eficientes – Biocombustibles</li> <li>6. Tarea: Revisar el video en la casa, buscar sobre la legislación en Colombia en relación con biocombustibles, cifras y datos acerca de biocombustibles en Colombia.</li> </ol>
P1.C11 Mayo 16 de 2016 1h 32min	Fundamentos Básicos: La Química de la Vida	Biocombustibles, introducción a la relación entre el tema de biocombustibles y el tema de biomoléculas, específicamente a través del tema de carbohidratos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entrega Documento Biocombustibles (Argenbio)</li> <li>2. Instrucciones del trabajo en grupo: cada grupo va a tomar una hoja de papel kraft del tamaño de su mesa y va a hacer un esquema del resumen de lo que han visto de Biotecnología blanca.</li> <li>3. Explicación de la relación entre el tema de biocombustibles y el tema de biomoléculas a través del tema de carbohidratos.</li> <li>4. Los estudiantes desarrollan el trabajo en clase, y entregan las “carteleras” a la profesora</li> </ol>

P1.C12 Mayo 20 de 2016 1h 18min	Introducción a la Biotecnología	<i>Fracking</i> vs. Biorremediación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enunciación del tema y los objetivos de la clase</li> <li>2. Trabajo en clase: Resolver preguntas sobre <i>fracking</i> y biorremediación. Observar el video de una compañera de otro curso sobre los colores de la Biotecnología</li> <li>3. Revisión de asistencia y de entrega de los trabajos</li> <li>4. Los estudiantes se acercan a la profesora y le presentan el trabajo, la profesora hace preguntas al respecto</li> </ol>
--	---------------------------------------	--	---

**Tabla 11.** Síntesis de las clases sistematizadas caso P.1

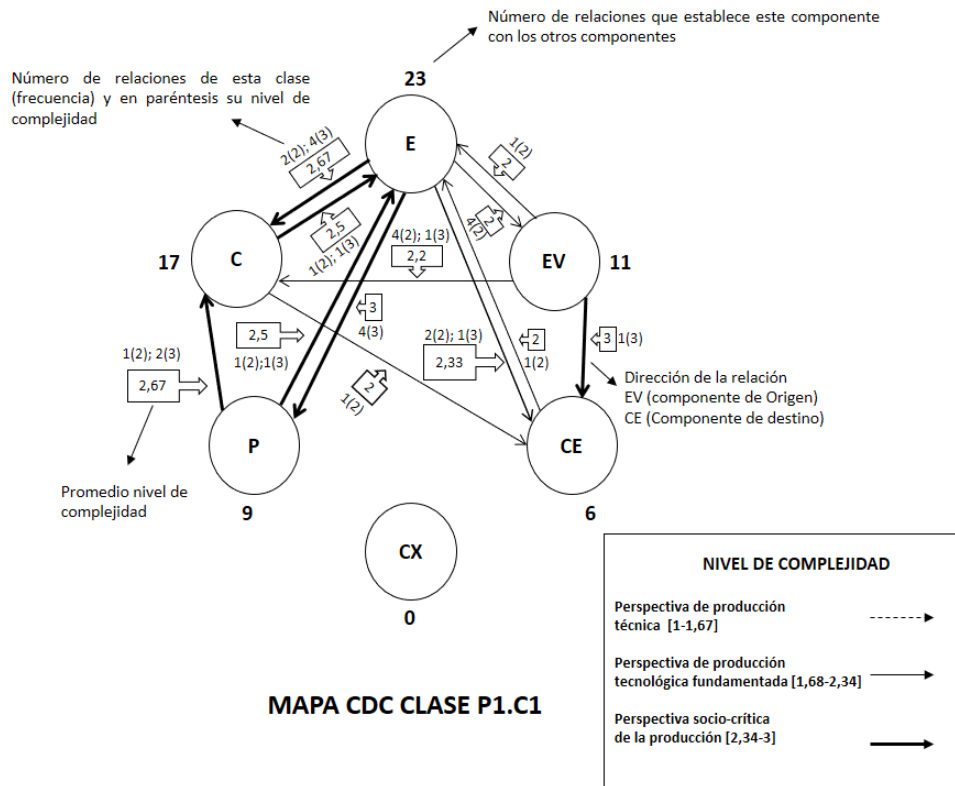
#### 4.1.2 El CDC en acción de la profesora Alejandra

A continuación, haremos referencia a los mapas del CDC en acción construidos a partir de la observación y análisis de la práctica de la profesora, es decir a partir de la sistematización de las 12 clases incorporadas en esta investigación. Inicialmente y en la idea de presentar a manera de ejemplo la forma en la que representamos la estructura del CDC en términos de sus componentes y de las relaciones entre ellos, así como la interpretación de dicha estructura, describiremos el mapa de la primera clase de la profesora Alejandra (clase P1.C1), el cual se muestra en la figura 6, acto seguido, nos referiremos a la interpretación del mapa que sintetiza el CDC de la profesora Alejandra de acuerdo a las 12 clases sistematizadas.

Nos referiremos entonces a la estructura del CDC en acción de la profesora Alejandra en términos de los componentes encontrados, la frecuencia de los componentes, las relaciones entre componentes y los niveles de complejidad de tales relaciones. Finalmente presentaremos nuestra interpretación acerca de cada uno de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra, dentro de cada componente describiremos aspectos generales a través de algunos fragmentos que consideramos relevantes y retomaremos aspectos acerca de la frecuencia, del tipo de relaciones con otros componentes y de complejidad de estas relaciones.

##### 4.1.2.1 Mapa del CDC en acción de la profesora Alejandra en la clase P1.C1

Como hemos dicho, el mapa del CDC en acción de Alejandra en la clase P1.C1 deriva de la sistematización de la primera clase de la profesora Alejandra según lo descrito previamente en el capítulo de Metodología (ver numeral 3.4, página 137).



**Figura 6.** Mapa de la clase P1.C1. Los recuadros dan información adicional

Para entender el mapa del CDC en acción de Alejandra en la clase P1.C1 debemos señalar que durante la clase identificamos 7 episodios. El análisis de contenido realizado nos deja ver que en esta clase, Alejandra hace uso de su conocimiento sobre los contenidos de enseñanza (C), las estrategias de enseñanza (E), los propósitos de enseñanza (P), el conocimiento de los estudiantes (CE) y la evaluación (EV), pero no de su conocimiento sobre el contexto (CX), razón por la cual, en el mapa, en la parte externa del círculo que corresponde a dicho componente del CDC se ubica el número cero y de manera obvia, no aparecen relaciones entre este componente y otro u otros componentes. A continuación, profundizaremos en las relaciones entre componentes del CDC que observamos en el mapa, su direccionalidad y sus niveles de complejidad.

#### 4.1.2.1.1 Relaciones entre componentes del CDC en la clase P1.C1

El mapa nos deja ver que el componente del CDC que establece el mayor número de relaciones con otros componentes es el de estrategias de enseñanza (23), seguido del componente contenidos de enseñanza (17) y de los componentes evaluación (11), propósitos de enseñanza (9) y conocimiento de los estudiantes (6).


En el caso de las 23 relaciones que establece el componente estrategias de enseñanza, podemos decir que 17 son relaciones en las que es el componente de origen cuando se relaciona con: los contenidos de enseñanza (6), los propósitos de enseñanza (4), la evaluación (4) y el conocimiento de los estudiantes (3), mientras que en las otras 6 relaciones es el componente de destino, con los componentes: propósitos de enseñanza (2), contenidos de enseñanza (1), evaluación (2) y conocimiento de los estudiantes (1).

El mapa deja ver también que el componente que precede en número de relaciones al de estrategias de enseñanza es el de contenidos de enseñanza (17). Para esta clase, se observa un número de 11 relaciones entre el componente de evaluación y los otros componentes del CDC. En cuanto al componente propósitos de enseñanza cabe señalar que se establecen 6 relaciones con el componente de estrategias de enseñanza, 2 en las que el componente propósitos de enseñanza es componente de origen y 4 en las que es componente de destino. Adicionalmente se establecen 3 relaciones con el componente contenidos de enseñanza, en las que el componente propósitos de enseñanza es el componente de origen.



El componente conocimiento de los estudiantes establece 6 relaciones en total, una con las estrategias de enseñanza, en las que el conocimiento de los estudiantes es el componente de origen, 3 más con este mismo componente, en las que es componente de destino y, una relación con el componente evaluación, y otra con el componente contenidos de enseñanza en las que es componente de destino.

#### **4.1.2.1.2 Complejidad de las relaciones entre componentes del CDC en la clase P1.C1**

Las relaciones entre los componentes del CDC de Alejandra en la clase P1.C1 tienen un valor de complejidad de 2 o de 3, donde 3 es el valor de referencia y 2 es el valor de complejidad intermedia. Cabe recordar que los valores de complejidad de cada relación se asignaron teniendo en cuenta la Hipótesis de Progresión para los componentes del CDC para la enseñanza de la Biotecnología, construida a partir de referencias bibliográficas (ver tabla 7).

Es importante recordar también, que la determinación de la complejidad promedio para cada clase de relación se realizó multiplicando la frecuencia o número de relaciones del mismo nivel de complejidad por su nivel de complejidad. En los casos en los que para la misma clase de relación se presentaron relaciones con niveles de complejidad diferentes, se sumaron los resultados de las multiplicaciones de la frecuencia por su valor de complejidad y el resultado se dividió por el número total de relaciones, obteniendo en cada caso un promedio representado en el mapa dentro del símbolo .

A continuación, presentamos dos ejemplos que nos permiten visualizar el porqué de los valores promedio de complejidad de algunas de las relaciones que arroja la sistematización (Tabla 12).

Relación	Nivel de complejidad	Frecuencia	Valor de complejidad Total	Nivel de Complejidad Promedio	Estilo de la flecha
EV → E	2	1	$1(2)/1 = 2$	Intermedia: Perspectiva de producción tecnológica fundamentada	
E → C	2	2	$[2(2) + 4(3)]/ 6 = 2,67$	Referencia: Perspectiva socio-crítica de la producción	
	3	4			

**Tabla 12.** Ejemplos del cálculo de los valores promedio de complejidad de algunas relaciones entre componentes del CDC de la clase P1.C1

Así, y de acuerdo con la tabla, la relación de EV a E tiene una frecuencia de 1, porque de los 7 episodios sólo apareció una vez. Dado que, de acuerdo con la Hipótesis de Progresión, la complejidad de esa relación fue de 2, multiplicamos 1 por 2, y el resultado lo dividimos entre 1, lo que nos da un valor de complejidad promedio de 2, que corresponde a un nivel intermedio, es decir a una perspectiva de producción tecnológica fundamentada.

Por su parte, la relación de E a C apareció en 6 de los 7 episodios (frecuencia 6), 2 veces con una complejidad de 2 y 4 veces con una complejidad de 3. Para hallar el valor promedio de la complejidad de la relación multiplicamos 2 por 2 y 4 por 3 y sumamos ambos resultados, dividiendo el resultado de la suma entre 6, el resultado final es de 2,67, valor de complejidad promedio que se encuentra en el rango de 2,34 a 3 y por tanto corresponde a un nivel de referencia, es decir a una perspectiva socio-crítica de la producción.

De esta manera, al observar los datos de los valores promedio de complejidad que aparecen en el mapa de la clase P1.C1 podemos notar que las relaciones con un valor promedio de complejidad de referencia son aquellas establecidas entre las estrategias de enseñanza y los contenidos, así como las establecidas entre las estrategias de enseñanza y los propósitos. Las relaciones con un valor promedio de complejidad intermedio son por tanto las demás relaciones establecidas entre los componentes del CDC de la clase P1.C1.

En la tabla 13 presentamos dos fragmentos del episodio 7, de la clase P1.C1 en los que se pueden notar relaciones entre pares de componentes del CDC, los valores de complejidad asignados a cada relación, así como algunas de las razones que nos llevaron a asignar tal complejidad.

<b>Episodio</b>	<b>Fragmento del episodio</b>	<b>Relación</b>	<b>Nivel de complejidad</b>
P1.C1.7	<i>P.1: [...] Listo [aplaude], muy bien, los felicito porque por fin, eh, se tomaron el trabajo de leer parte del artículo y por lo que veo no está tan difícil, muy bien.</i>	EV → E	2 La profesora evalúa positivamente el documento que ha seleccionado para leer en clase, señalando que por lo que ve no está tan difícil. La evaluación corresponde a una medida del grado de consecución de los objetivos.
P1.C1.7	<i>P.1: Organizamos todos los hechos históricos que hay ahí, vieron lo que le preguntaba a Jair, ¿cómo Lavoissier, que se supone que es químico, porque ustedes ya lo han visto en Química, con la teoría del flogisto, contribuyó al desarrollo de la Biotecnología?, ¿qué fue lo que él hizo para que eso pasara?, ¿está claro?, no es escribir teoría de Lavoissier, teoría de Jenner, teoría del vitalismo, no, hay que explicar y no solamente explicarlo ahí en el trabajo sino presentarlo aquí porque vamos a preguntar, deben venir muy bien preparados para el viernes que tenemos clase, después de Semana Santa, eh venir preparados para presentar su trabajo.</i>	E → C	3 La estrategia es la construcción en grupo de una línea del tiempo sobre la historia de la Biotecnología, para presentar después de vacaciones de Semana Santa. La profesora insiste en que los estudiantes expliquen cómo los hechos ubicados en la línea del tiempo contribuyeron al desarrollo histórico de la Biotecnología, lo que da cuenta de un contenido asociado a la epistemología de la Biotecnología

**Tabla 13.** Algunas relaciones entre componentes en la clase P1.C1 con sus valores de complejidad

Al igual que para los casos del ejemplo anterior, los niveles de complejidad asignados a las relaciones identificadas, fueron discutidos y consensuados entre la tesista y el director de la tesis doctoral, en algunas ocasiones la discusión fue prolongada y así mismo fue difícil llegar a consensos.

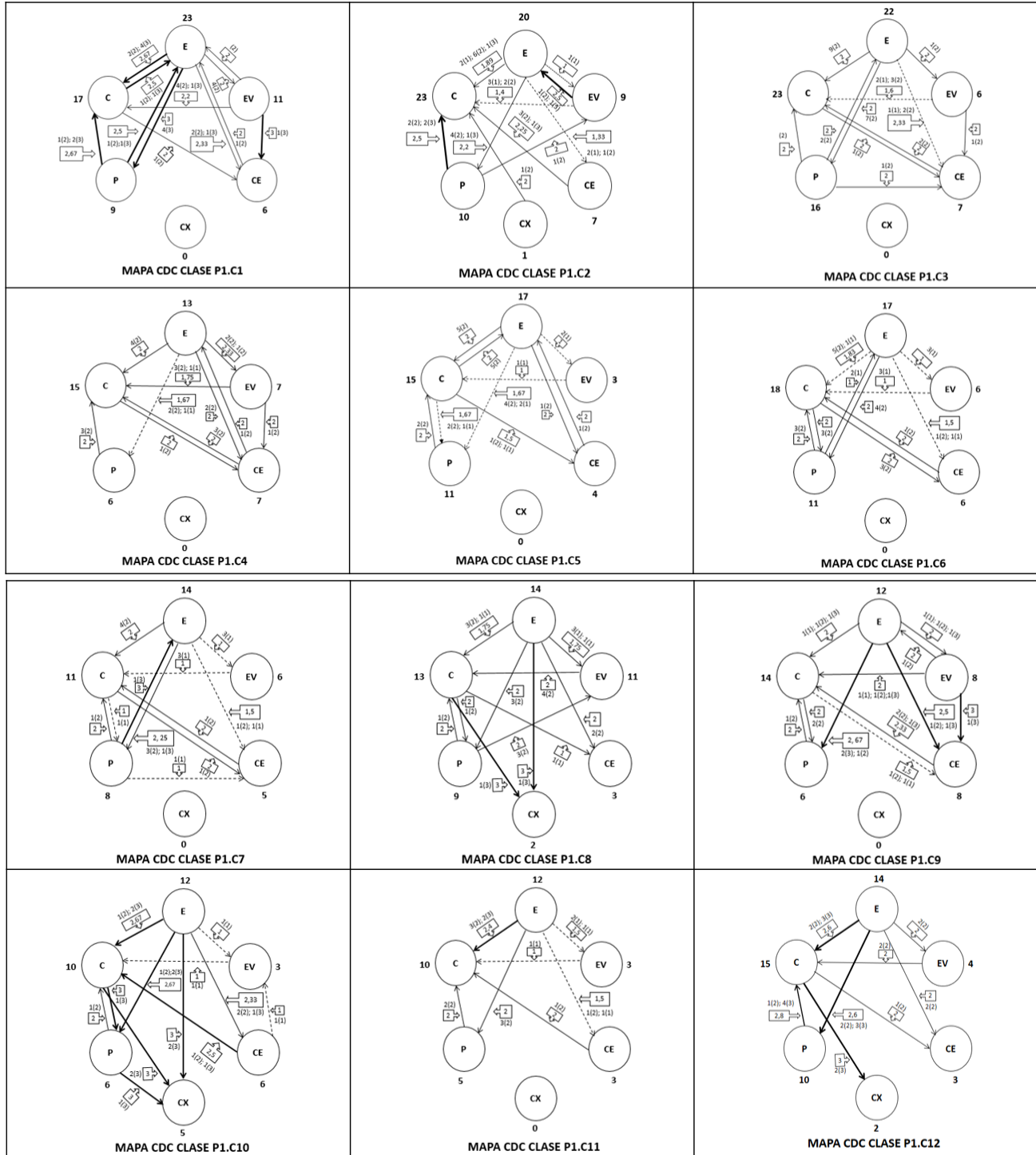
#### **4.1.2.2 Estructura del CDC en acción de la profesora Alejandra**

Teniendo en cuenta el volumen de información arrojado por la sistematización de las 12 clases de la profesora Alejandra, nos es imposible describir las interpretaciones clase a clase tal y como acabamos de hacer para las relaciones entre componentes del CDC en la clase P1.C1. Por lo tanto, a continuación, nos referiremos a la estructura del CDC en acción de la profesora Alejandra, desde la información obtenida a través del mapa consenso de su CDC en acción. Así, inicialmente presentaremos los mapas del CDC correspondientes a las 12 clases que fueron sistematizadas e incluidas en esta investigación, luego presentaremos el mapa consolidado del CDC en acción y a partir de este, describimos nuestra interpretación acerca de los componentes y las características de las relaciones entre componentes del CDC en acción de Alejandra. Dentro de cada componente describiremos aspectos generales de frecuencia, del tipo de relaciones con otros y de complejidad, ilustrando a través de algunos fragmentos diferentes episodios que consideramos relevantes.



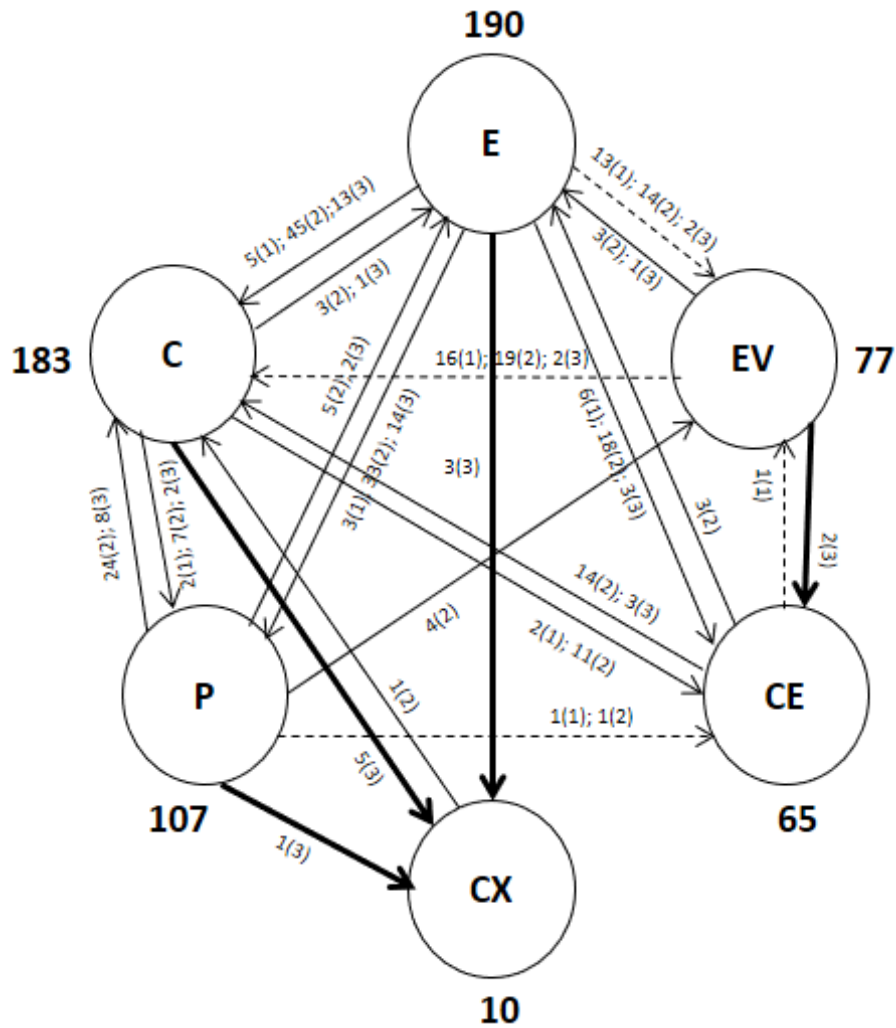
#### 4.1.2.2.1 Mapas del CDC en acción de la profesora Alejandra

La figura 7 muestra los mapas del CDC en acción de las 12 clases sistematizadas incluidas en esta investigación.



**Figura 7.** Mapas del CDC en acción de la profesora Alejandra de las clases P1.C1 a P1.C12

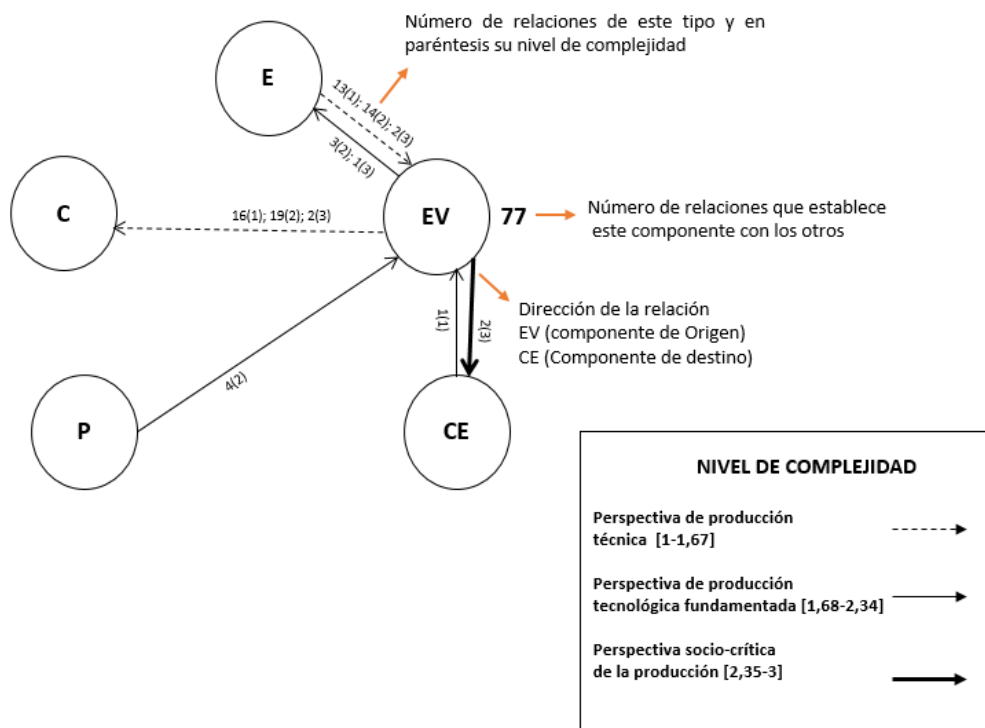
A partir de la información de las 12 clases, realizamos además un ejercicio de síntesis, que nos permitió obtener un mapa consolidado del CDC en acción de la profesora Alejandra (Figura 8). Este mapa fue construido teniendo en cuenta el resultado de la suma de las cantidades de cada tipo de relación observada en las 12 clases, así como el respectivo valor promedio de la complejidad de cada relación.



**Figura 8.** Mapa consolidado CDC en acción profesora Alejandra.

#### 4.1.2.2.1.1 Frecuencia de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra

En la idea de analizar el CDC en acción de la profesora Alejandra, hemos realizado una gráfica de barras (Figura 10) que nos permite visualizar la frecuencia de cada componente en el mapa consolidado de su CDC en acción. Dicha frecuencia corresponde al porcentaje en el que está presente ese componente en el mapa, respecto al número total de las relaciones que establecen los componentes, lo cual vamos a ilustrar con el siguiente ejemplo (Figura 9) acerca del porcentaje del componente Evaluación (EV) en el mapa consolidado del CDC en acción.



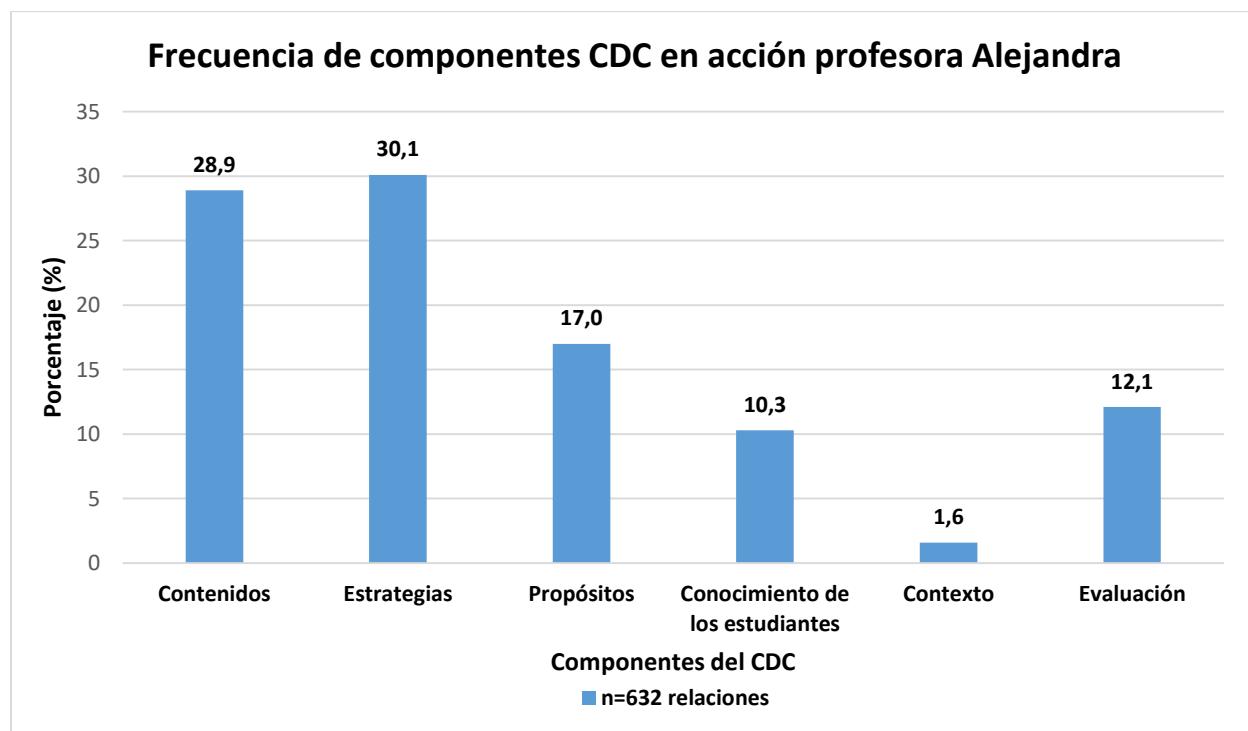
**Figura 9.** Ejemplo para entender el porcentaje del componente Evaluación (EV) en el mapa consolidado del CDC en acción de la profesora Alejandra.

Como podemos notar, afuera del círculo marcado con las letras EV encontramos el número 77, lo anterior indica que en el mapa del CDC en acción de la profesora Alejandra el componente Evaluación establece 77 relaciones con otros componentes, en las que contamos tanto aquellas en las que EV es el componente de origen como aquellas en las que es componente de destino. Adicionalmente y como ocurre en los otros mapas presentados, encontramos unas flechas que informan que existe relación entre dos componentes, la punta de la flecha indica la dirección de la relación en el sentido componente de origen a componente de destino. Sobre la flecha encontramos el número de veces que se presenta ese tipo de relación y entre paréntesis el nivel de complejidad. El grosor y guion de la flecha indican el nivel de complejidad, 1 para perspectiva de producción técnica, 2 para perspectiva de producción tecnológica fundamentada y 3 para perspectiva sociocrítica de la producción.

Así, observamos cuatro relaciones que van de EV a E (tres con complejidad de 2 y otra con complejidad de 3; dos relaciones que van de EV a CE cuyo nivel de complejidad es de 3; treinta y siete relaciones que van de EV a C, dos cuya complejidad es 3, diecinueve con complejidad de 2 y dieciséis con complejidad de 1, pero también cuatro relaciones que van de P a EV con complejidad de 2, veintinueve relaciones que van de E a EV, trece con complejidad de 1, catorce con complejidad de 2 y dos con complejidad de 3, así como una relación que va de CE a EV, con

complejidad de 1. Teniendo en cuenta que el número total de relaciones entre todos los componentes del mapa de CDC en acción fue de 632 (n=632), podemos decir que el porcentaje del componente evaluación es de 12,3%, como se observa en la gráfica de barras (Figura 10).

De la misma manera que acabamos de presentar, hallamos los valores de los porcentajes o frecuencias porcentuales de los demás componentes del CDC en acción de Alejandra, los cuales aparecen en la Figura 10.



**Figura 10.** Frecuencia de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra.

De acuerdo con la gráfica, notamos que en el CDC en acción de la profesora Alejandra, el 30,1% del total de las relaciones son establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, mientras que el 28,9 % son establecidas por el componente Contenidos de enseñanza, lo cual conlleva a que estos sean los componentes mayoritarios de su CDC en acción. De otra parte, los componentes Propósitos de enseñanza, con un porcentaje de 17,0%, y, Evaluación, con un porcentaje de 12,1%, al tener valores de frecuencia cercanos a la mitad de las relaciones que establece el componente Estrategias de enseñanza, también desempeñan un papel importante en el CDC de Alejandra. De igual manera, observamos que los componentes Conocimiento de los estudiantes, con una frecuencia de 10,3% y Conocimiento del Contexto, con un 1,6% del total de las relaciones, son los componentes minoritarios del CDC en acción de Alejandra, notando, de manera particular que el Conocimiento del Contexto se encuentra muy por debajo del porcentaje del conocimiento sobre la Evaluación.

#### 4.1.2.2.1.2 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones

A continuación presentamos una tabla que nos permite visualizar las relaciones entre los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra, informándonos las relaciones en las que cada componente es componente de origen o componente de destino (por lo que el valor de n en este caso corresponde a la mitad del valor del n que tomamos para la construcción de la gráfica de barras -figura 10- que acabamos de presentar), así como la frecuencia de cada relación y su promedio del nivel de complejidad, el cual se representa a través de flechas de diferente grosor y guion, de la manera que se ha venido haciendo.

Teniendo en cuenta los valores de los porcentajes de las relaciones entre componentes del CDC en acción de Alejandra, hemos establecido tres rangos cerrados de porcentajes: Bajo de 0 a 6,7%, Medio de 6,8 a 13,4% y Alto de 13,5% a 20,1%. Adicionalmente, cada rango de porcentaje está representado por un color así: el azul representa el rango de porcentaje bajo, el anaranjado representa el rango medio y el verde representa el rango alto.

Componente Destino \ Componente Origen	C	E	P	CE	EV	CX
C		1,3% →	3,5% →	4,1% →	-	1,6% →
E	20,1% →		15,9% →	8,6% →	9,2% - - - →	1,0% →
P	10,2% →	2,2% →		0,6% - - - →	1,3% →	0,3% →
CE	5,4% →	1,0% →	-		0,3% - - - →	-
EV	11,8% - - - →	1,3% →	-	0,6% →		-
CX	0,3% →	-	-	-	-	

**Tabla 14.** Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC en acción de la profesora Alejandra (n= 316). El color azul representa el rango de porcentaje bajo, el color anaranjado representa el rango medio y el color verde representa el rango alto. → representa complejidad de referencia (perspectiva socio crítica de la producción), → representa complejidad intermedia (perspectiva tecnológica fundamentada de la producción) y - - - → representa complejidad inicial (perspectiva técnica de la producción).

En lo que sigue haremos una breve descripción acerca de la información que nos presenta la tabla 14, para dar paso a una descripción más detallada de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra, presentada desde los componentes mayoritarios hasta los componentes minoritarios en su CDC en acción.

El análisis de la tabla 14, nos deja ver, que en el CDC en acción de la profesora Alejandra el **componente Estrategias de enseñanza** es el que genera mayor número de relaciones en total. Así, podemos observar que, cuando las Estrategias de enseñanza son componente de origen, se establecen relaciones con los demás componentes del CDC, siendo las de más alto porcentaje de aparición las establecidas con los Contenidos de enseñanza (20,1%) y los Propósitos de enseñanza (15,9%), podemos observar también, que estas relaciones tienen una complejidad intermedia, a excepción de las relaciones Estrategias a Evaluación y Estrategias a Contexto, que tienen una complejidad inicial y de referencia respectivamente. De igual manera observamos que las Estrategias de enseñanza son componente de destino cuando los componentes Contenidos, Propósitos, Conocimiento de los estudiantes y Evaluación, son componentes de origen; en todos los casos la complejidad es intermedia y la frecuencia porcentual se encuentra en un rango medio.

De otra parte, encontramos que el **componente Contenidos de enseñanza** es el que precede al número de relaciones establecidas por las Estrategias de enseñanza. El componente Contenidos de enseñanza es componente de origen cuando se relaciona con los demás componentes, a excepción del componente Evaluación, con el que no se relaciona. En promedio, la relación Contenidos de enseñanza a Contexto tiene complejidad de referencia, mientras que las otras tres relaciones son de complejidad intermedia. En todos estos casos el porcentaje de aparición es bajo, siendo la relación Contenidos a Conocimiento de los estudiantes la que presenta un mayor valor. El componente Contenidos también es componente de destino cuando se relaciona con los demás componentes del CDC, en la mayoría de los casos la complejidad es intermedia, a excepción de la relación con el componente Evaluación, cuya complejidad es inicial. De estas relaciones dos presentan un porcentaje de aparición medio (Propósitos a Contenidos y Evaluación a Contenidos) y las otras dos presentan un porcentaje de aparición bajo (Conocimiento de los estudiantes a Contenidos y Contexto a Contenidos).

Respecto al **componente Propósitos de enseñanza** notamos que cuando este componente es componente de origen se relaciona con todos los demás componentes y que, tres de las cinco clases de relaciones tienen complejidad intermedia (con los componentes Contenidos, Estrategias y Evaluación), una relación tiene complejidad inicial (con Conocimiento de los estudiantes) y otra relación tiene complejidad de referencia (con el Contexto). Observamos también que, de éstas relaciones, la que va de Propósitos a Contenidos se encuentra en un rango medio de frecuencia mientras que las demás se encuentran en un rango bajo. Cuando los Propósitos son componente de destino aparecen dos relaciones, de Contenidos a Propósitos, con una complejidad intermedia y un porcentaje bajo de aparición y, de Estrategias a Propósitos, con una complejidad intermedia y porcentaje de aparición alto.

En cuanto al **componente Evaluación**, podemos observar que solamente aparecen 6 de las 10 relaciones posibles, 3 en las que es componente de origen, con los componentes Contenidos, Estrategias y Conocimiento de los estudiantes, cuyas complejidades son inicial, intermedia y de referencia respectivamente, de las cuales, la primera se presenta en un rango medio de porcentaje, y las otras dos en un rango bajo, y 3 cuando es componente de destino, con los componentes Estrategias, con un porcentaje medio de aparición y complejidad intermedia, Propósitos de enseñanza, con complejidad intermedia y rango bajo de porcentaje de aparición y Conocimiento de los estudiantes, con complejidad baja y rango bajo de aparición.

Respecto al **componente Conocimiento de los estudiantes** encontramos que se establecen 7 relaciones, 3 como componente de origen, con los componentes Contenidos, Estrategias y Evaluación, todas ellas con un porcentaje bajo de aparición, y 4 como Componente de destino, con los componentes Contenidos, Estrategias, Propósitos y Evaluación, de las cuales la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes se presenta en un rango medio de porcentaje de aparición, mientras que las demás aparecen dentro de un rango bajo.

Respecto al **componente Contexto** observamos que en el CDC en acción de Alejandra aparecen 4 de las 10 relaciones posibles, por lo que, en términos generales, este es el componente minoritario. De esta manera, podemos notar que cuando el Contexto es componente de origen solamente ocurre la relación Contexto a Contenidos, con un porcentaje bajo de aparición y una complejidad intermedia, mientras que cuando el Contexto es componente de destino, aparecen las relaciones con los componentes Estrategias, Propósitos y Contenidos de enseñanza, todas ellas con un porcentaje bajo de aparición, aunque con complejidad promedio de referencia.

#### **4.1.2.2.1.3 Descripción de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra**

Buscando ampliar y comprender mejor las características de los componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra, en lo que sigue intentaremos describir cada componente de acuerdo a lo encontrado durante el proceso de sistematización de las 12 clases y atendiendo a su orden de frecuencia, esto es, iremos de los componentes mayoritarios a los componentes minoritarios.

##### **4.1.2.2.1.3.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza**

Durante el transcurso de las clases, Alejandra mencionó y/o desarrolló variados contenidos, directamente relacionados con la Biotecnología, a los que de acuerdo con Magnusson, Krajcik y Borko (1999), denominamos contenidos tópico específicos. Según la figura 10, este componente se constituye en el segundo en orden de porcentaje de relaciones en su CDC en acción (28,8%),

lo cual nos permite entender que en su práctica Alejandra permanentemente hace referencia a contenidos de enseñanza asociados a la Biotecnología.

A través de la sistematización notamos que ciertos contenidos de enseñanza abordados mantuvieron una relación concreta con aspectos del Conocimiento sobre la Biotecnología, esto es, se relacionaron con la *Naturaleza de la Biotecnología*, en cuanto a su aspecto epistemológico, es decir en relación con su definición, su estatus epistemológico, su estructura sustantiva y su estructura sintáctica, su aspecto histórico y su aspecto sociológico.

Atendiendo a lo anterior, en esta tesis doctoral presentamos nuestra interpretación del componente Contenidos de enseñanza, tanto para el caso de la profesora Alejandra, como para el caso del profesor Tomás, teniendo como subcategorías de sistematización las siguientes: *Naturaleza de la Biotecnología*, *Contenidos conceptuales*, *Contenidos procedimentales* y *Contenidos actitudinales*, las cuales surgen del interés de nuestra tesis por comprender el conocimiento del profesor que enseña Biotecnología sobre la Biotecnología y más aún, de comprender la relación entre dicho conocimiento y el CDC en los profesores estudiados.

A continuación, ampliaremos la descripción y discusión acerca de los contenidos de enseñanza abordados por la profesora Alejandra durante las clases sistematizadas.

- ***Aspectos epistemológicos de la Biotecnología***

En cuanto a los contenidos relacionados con el aspecto epistemológico de la Biotecnología, podemos notar que Alejandra hace referencia a la existencia de varias definiciones de la Biotecnología. Así, durante la primera clase enuncia que en las sesiones anteriores abordó definiciones y generalidades de la Biotecnología, señalando también que existen varias definiciones de Biotecnología, las cuales presentan semejanzas y diferencias entre ellas.

Dado que las clases que observamos y grabamos no incluyeron las primeras clases del año escolar, nos vimos en la necesidad de indagar acerca de la definición de Biotecnología presentada por la profesora a los estudiantes, de esta manera, durante una conversación, sostenida el 26 de noviembre de 2016, entre la tesista y Alejandra, (donde T corresponde a Tesista y P.1 a Profesora Alejandra) ella manifestó:

*T: ¿Cómo definieron Biotecnología al inicio del seminario?*

*P.1: ¿Cómo definimos la Biotecnología a qué se refiere?*

*T: O sea, quiero saber ¿qué les dijiste que era Biotecnología?*



*P.1: Ellos lo buscaron, hay varias definiciones de Biotecnología, entonces ellos buscaron varias de las definiciones de Biotecnología, la más aceptada por toda la comunidad es que la Biotecnología es el resultado o son los eh, o son servicios, o son cosas producto del estudio de animales, o de trabajo con animales o con organismos vivos y es hacia eso a lo que apuntamos, entonces a drogas biotecnológicas obtenidas de proteína recombinante a bioproductos como fertilizantes, eh, bioinsecticidas, con base en eso, era a lo que estábamos apuntando, en ese sentido, eso dio origen a que estudiáramos todos los tipos de Biotecnología que hay de acuerdo a los colores, entonces, a dónde fue que apuntamos, apuntamos a mirar que la Biotecnología es el resultado del estudio de los organismos vivos y de la influencia positiva o negativa que esos organismos vivos tienen sobre otros seres vivos [...] tú sabías que yo les buscaba mucho artículo, entonces yo busqué varias definiciones de Biotecnología, a través de la historia, o definiciones de acuerdo a los diferentes trabajos, entonces de acuerdo a todas esas definiciones de Biotecnología nosotros adaptamos una a lo que nosotros estábamos haciendo y miramos una de acuerdo a lo que nosotros estábamos revisando aquí en el colegio*

*T: Ahh, eso me parece súper interesante porque yo no tenía esa información entonces quería saber cómo lo habías abordado, o sea, ¿te quedas con la definición más aceptada que es esa, el uso de productos o partes de...?*

*P.1: Organismos vivos*

*T: Organismos vivos para la producción de servicios que traigan beneficios para la*

*P.1: Para la comunidad”.*

Con lo que, como podemos notar, Alejandra menciona que presentó las diferentes definiciones de Biotecnología que se encuentran en la literatura, pero apuntando a definirla como el resultado del uso de productos o partes de organismos vivos para la producción de servicios que traigan beneficios para la comunidad, abordando además la influencia positiva o negativa que los organismos vivos producidos mediante procedimientos biotecnológicos tienen sobre otros seres vivos, lo que da cuenta de una perspectiva socio-crítica de la Biotecnología.

Cabe señalar, además, que, en la primera clase, Alejandra se refiere a la Biotecnología como un trabajo de investigación, con lo cual, le concede ese estatus epistemológico.

Así, como parte de la definición que Alejandra dice abordar con sus estudiantes, hace referencia a elementos del objeto de la Biotecnología como el uso de seres vivos o partes de ellos, la producción y la obtención de productos que pueden tener una influencia positiva o negativa sobre otros seres vivos.

Lo anterior nos permite considerar que para Alejandra la manipulación de lo vivo constituye un elemento del objeto de la Biotecnología, sin embargo, este elemento no se hace evidente como contenido de enseñanza durante el desarrollo de sus clases. Es así como, en el siguiente

fragmento, que hace parte de las exposiciones que se llevan a cabo en la clase segunda, se hace mención a la capacidad del ser humano de alterar la información genética de un organismo, lo que da cuenta de la manipulación de lo vivo, aspecto de la epistemología de la Biotecnología que no es desarrollado por la profesora, en la idea de resaltar que los seres vivos contienen una información genética, cuya manipulación ha sido parte del desarrollo de la Biotecnología.

*“E.2: Ya después hubo algo que se llamó Proyecto Genoma Humano, que fue lo que dio principio a que el mismo humano alterará todo eso, o sea ahí contribuyó a que...”*

*“P.1: ¿A qué?”*

*E.2: Humano*

*P.1: Aaaa*

*E.2: Pudiera alterar más todavía lo que había hecho. Después hubo algo que se llama los alimentos transgénicos, que tomaron una semilla base ehhh con un químico y digamos, un ejemplo, yo dibuje ahí una mazorca, las mazorcas de antes eran pequeñas y no muy uniformes, traían los granos muy grandes, entonces ahora son alteradas*

*E.3: genéticamente*

*E.2: Alteradas genéticamente, que son que todas tienen un orden, que todos los granitos son iguales, debido a eso, a lo mismo, a la alteración que le hacía el humano. Ya después se descubrió lo de la secuencia del genoma humano que eran los... los cromosomas, entonces se descubrió eso, y después hubo lo de la ovejita Dolly, que fue clonada una oveja y después se murió, pero finalmente se pudo realizar el proyecto de clonar un animal. Tiempo más adelante se descubrió lo del genoma humano 22, y la verdad que de eso no investigué” (Clase P1.C2).*

Lo anterior se deba quizás a que, de acuerdo con la profesora, los contenidos de las exposiciones serán desarrollados durante el transcurso del seminario, con lo que ella se limita a escuchar a los estudiantes, sin ampliar o desarrollar los contenidos presentados.

Al final de la octava clase Alejandra presenta a los estudiantes un video acerca de la clasificación de la Biotecnología por colores, el cual fue realizado por ella durante un curso sobre TIC en el que participó. Así, inicialmente los estudiantes observan el video, en el cual aparece la siguiente definición de Biotecnología:

*“La biotecnología es un enfoque multidisciplinar que involucra varias disciplinas y ciencias (biología, bioquímica, genética, virología, agronomía, ingeniería, química y medicina)”.*

Así como las definiciones y algunos ejemplos de la Biotecnología roja, verde, gris y azul:

Cabe señalar que Alejandra no amplía la información observada, por lo tanto, no hay mayor discusión respecto a la definición y clasificación de la Biotecnología. En este sentido la profesora

solamente menciona que la clasificación de la Biotecnología que se aprecia en el video no es la única que hay y que el banco de semillas que existe en el colegio pertenece a la agroalimentación.

El análisis de este episodio nos permite notar que Alejandra se refiere a un enfoque multidisciplinar como estatus epistemológico de la Biotecnología, asociado a la perspectiva interdisciplinar que sostiene y que desarrollaremos más adelante. Podemos ver además que, aunque reitera que la clasificación que presenta no es la única que existe, para Alejandra la Biotecnología se puede clasificar de acuerdo al sector industrial en el que se desarrollen sus aplicaciones, con lo que da cuenta de la aplicación en la industria como un elemento del objeto de la Biotecnología.

Respecto a la definición y clasificación de la Biotecnología, durante la décima clase los estudiantes presentan a manera de exposición las infografías acerca de la clasificación de la Biotecnología por colores que han realizado como tarea.

Los contenidos de enseñanza hacen referencia a las principales aplicaciones de la Biotecnología agrupadas por colores que se relacionan con sectores industriales. Cabe resaltar que los contenidos se originan principalmente en las exposiciones de los estudiantes. A través de las exposiciones se hace mención a contenidos muy potentes en cuanto al aspecto epistemológico de la Biotecnología, principalmente respecto al objeto de la Biotecnología en relación a las distintas aplicaciones biotecnológicas y los distintos sectores industriales en los que ha venido impactando, contenidos que Alejandra no retoma para profundizar en la idea que los estudiantes reconozcan tanto los criterios de clasificación de la Biotecnología por colores, como su impacto en la sociedad.

De esta manera señalamos que “la caja negra” de esta clase radica en el reconocimiento del uso de los seres vivos como objeto de la Biotecnología, en la medida que no evidenciamos si los estudiantes logran reconocer o no la mediación o intervención de los seres vivos en los procesos y productos mencionados durante sus exposiciones, lo anterior se hace evidente, por ejemplo, en el siguiente fragmento de la clase:

*“E.3: [...] Del azul, la verdad del azul no entendí nada, pues entonces*

*P.1: ¿Con qué lo relacionarías?, el azul*

*E.3: Pues yo busqué imágenes para dibujar y pues salían pescaditos*

*P.1: ¿Y entonces?, ¿dónde encontramos los pececitos?*

*E.3: En el acuario*

*P.1: ¡En el acuario!*

*E.3: Pues en el mar, en los ríos*

P.1: A bueno, pues entonces, esa Biotecnología, tú lo acabas de decir, ¿estará relacionada con qué?

E.3: Todo aquello que tenga que ver con los animales del mar

P.1: Con el mar, perfecto

E.3: Animales marinos

P.1: Sí” (Clase P1.C10).

En cuanto a las aplicaciones en el sector industrial como objeto de la Biotecnología cabe señalar que también en la décima clase Alejandra plantea relaciones entre la Biotecnología blanca, las aplicaciones de la fermentación (retomando el trabajo experimental desarrollado en clases anteriores) y los biocombustibles, como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

“P.1: [...] Vamos a empezar, a ver, escúchenme por favor, vamos a empezar a relacionar algo que nosotros hicimos aquí, ¿Qué fue lo que hicimos en la parte experimental?, ¿Qué proceso?

E.7: La fermentación láctica

P.1: La fermentación. Ehhh, hicimos varios tipos de fermentación, pero vamos a hablar del proceso en general, ¿está claro? Aunque ese proceso de fermentación, se hizo, óiganme bien, en la parte del seminario que corresponde a las moléculas de la vida, aquí, en Introducción a la Biotecnología, vamos a mirar ¿cuál es la aplicación de esa fermentación? Entonces nuestro tema general hoy son los biocombustibles, ojo, y vayan pensando, si voy a hablar de biocombustibles, ¿en qué tipo de Biotecnología yo puedo ubicar esos biocombustibles de acuerdo al color?

Estudiantes: Blanca

P.1: Blanca” (Clase P1.C10).

Con lo que, a través de su discurso podemos señalar que para Alejandra las aplicaciones del proceso de la fermentación hacen parte de la Biotecnología, en este caso de la Biotecnología blanca, en la que se ubican los biocombustibles.

En cuanto a la finalidad de la Biotecnología, durante la décima clase Alejandra manifiesta que los biocombustibles son una aplicación práctica de la Biotecnología blanca y en este sentido, desarrolla una presentación acerca de los biocombustibles, en la que expresa:

“Y esa Biotecnología [Biotecnología blanca] tiene unas funciones, y aquí me habla (señala en la dispositiva), mejorar los medios de producción, desarrollo de nuevos productos, reducción del impacto ambiental en las actividades industriales...” (Clase P1.C10).

Con lo que se refiere a la finalidad de la Biotecnología Blanca, señalando que entre sus funciones se encuentran mejorar los medios de producción, desarrollar nuevos productos y reducir el impacto ambiental en las actividades industriales, todas ellas funciones que podemos asociar a

ventajas de la Biotecnología blanca, sin embargo, más adelante en su discurso cuestiona tales funciones, invitando a los estudiantes a cuestionar y reflexionar en torno al impacto ambiental de la producción de biocombustibles y de las emisiones de gases invernadero resultantes de su utilización.

Adicionalmente, durante la clase 11 Alejandra presenta a los estudiantes un documento de Argenbio (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología) acerca de los biocombustibles, en el que se ratifica la producción de biodiesel como una aplicación biotecnológica alternativa a la contaminación de los combustibles derivados del petróleo, en otras palabras, ratifica los biocombustibles como productos biotecnológicos que reducen el impacto ambiental generado por otra clase de productos.

De otra parte, cabe señalar que, en el transcurso de algunas de sus clases, Alejandra hace referencia a la perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología. Así, por ejemplo, al inicio de la primera clase expresa que en clases anteriores estuvieron hablando acerca de las generalidades de las ciencias que constituyen las investigaciones en Biotecnología y más adelante hace una pregunta que nos permite pensar que para ella, la Biotecnología tiene una estructura interdisciplinar, al reconocer que existen ciencias que han contribuido a su desarrollo:

“P.1: ¿Esto nos servirá como hecho histórico? o ¿nos sirve como ciencias que han contribuido al desarrollo?”

Estudiantes y P.1: Como ciencias

P.1: Entonces, descartémoslo por ahí y dejémoslo para la parte de ciencias. Escriban en su artículo, saquen una flechita y escriban ciencias, para cuando llequemos allá miremos qué paso con eso, listo, siqamos”. (Clase P1.C1).

Adicionalmente, durante esta clase Alejandra manifiesta que la Bioquímica es una ciencia y no un hecho, con lo cual podemos notar la clasificación que la profesora hace de la información de la lectura en cuanto a hechos históricos y ciencias que han contribuido al desarrollo de la Biotecnología.

Respecto a la estructura sintáctica de la Biotecnología, encontramos un contenido de enseñanza asociado a la validación del conocimiento biotecnológico. Lo anterior ocurre ante la pregunta de una estudiante en relación a la identificación de la Bioquímica como hecho, a la que la profesora le replica, como podemos ver a continuación:

*“E.1: Profe, ¿la Bioquímica?”*

*P.1: Es una ciencia. ¿Qué hizo la Bioquímica para ayudar?”*

*E.1: Dice que desapareció las filosofías vitalistas*

*P.1: Pero, ¿qué fue lo que ella validó?”*

Lo que nos permite pensar que Alejandra considera la participación de la Bioquímica en la validación del conocimiento biotecnológico.

De otra parte, cabe señalar que a partir de la sistematización no encontramos contenidos de enseñanza asociados a la producción o a la validación del conocimiento biotecnológico, contenidos que Alejandra habría podido presentar por ejemplo durante las clases sobre Historia de la Biotecnología, o en las que se refirió a la clasificación de la Biotecnología por colores.

- ***Aspectos históricos de la Biotecnología***

Durante la primera clase señala explícitamente que van a desarrollar la temática de Historia de la Biotecnología, enunciando que van a identificar los hechos que facilitaron el desarrollo histórico de la Biotecnología, con lo cual los contenidos de enseñanza se orientan a la comprensión de la manera en la que la Biotecnología se ha desarrollado a través de la historia.

En el transcurso de esta clase, Alejandra señala que previamente han identificado algunos hechos fundamentales en el desarrollo histórico de la Biotecnología, entre los que menciona: la domesticación de animales y de plantas, la pasteurización, la producción de vacunas, la fermentación y la producción del pan, del vino y del yogurt, y propone, la elaboración de una Línea del Tiempo de la Historia de la Biotecnología.

Así, uno de los párrafos del texto que leen trata sobre los avances de técnicas como la PCR (reacción en cadena de la polimerasa), el cual narra que ésta técnica ha permitido aumentar las cantidades de ADN y, por tanto, ha facilitado su estudio, lo cual es reconocido por Alejandra como un hecho importante en el desarrollo de la Biotecnología. En este sentido, hace preguntas con las que cuestiona el hecho histórico, problematizándolo con relación al desarrollo de la Biotecnología, con lo que se evidencia que el contenido de enseñanza de fondo corresponde a la historia y la epistemología de la Biotecnología.

Alejandra también enseña la ubicación en el tiempo de tales hechos, en cuanto a si sucedieron antes o después de Cristo. En este sentido cabe señalar que la profesora reitera la división de la historia en antes de Cristo y después de Cristo, buscando que los estudiantes ubiquen los hechos identificados en esas dos franjas de tiempo y también que ubiquen algunas que, si bien suceden después de Cristo, no son muy modernas. Lo anterior facilita el reconocimiento del orden cronológico de los hechos identificados, así como el reconocimiento del desarrollo de la Biotecnología como un proceso ocurrido a través de la historia y del tiempo, que posibilita su intención de construir una Línea del tiempo del desarrollo de la Biotecnología.

Al final de la clase Alejandra da las instrucciones para la elaboración de la Línea del tiempo que asigna como tarea, indica que quiere que los estudiantes se preparen para explicar por qué los hechos que mencionan contribuyeron al desarrollo de la Biotecnología, es así como señala:

“P.1: Organizamos todos los hechos históricos que hay ahí, vieron lo que le preguntaba a Jair, ¿cómo Lavoissier, que se supone que es químico, porque ustedes ya lo han visto en Química, con la teoría del flogisto, contribuyó al desarrollo de la Biotecnología?, ¿qué fue lo que él hizo para que eso pasara?, ¿está claro?, no es escribir teoría de Lavoissier, teoría de Jenner, teoría del vitalismo, no, hay que explicar y no solamente explicarlo ahí en el trabajo sino presentarlo aquí porque vamos a preguntar, deben venir muy bien preparados para el viernes que tenemos clase, después de Semana Santa, eh venir preparados para presentar su trabajo, ¿está claro chicos?, ¿alguna pregunta al respecto?” (Clase P1.C1).

Con lo que, los contenidos de fondo corresponden a la Naturaleza de la Biotecnología, en tanto su historia y su epistemología. Llama la atención que en el planteamiento de Alejandra respecto a la línea del tiempo no se destaca la importancia de los sujetos (en el ámbito individual o colectivo), lo importante son los hechos. En este sentido el abordaje de la línea de tiempo, se podría enriquecer abordando además aspectos respecto a la ubicación geográfica de esos acontecimientos, con lo cual establecer un panorama más amplio y crítico del desarrollo de la Biotecnología. No obstante, destacamos que Alejandra no se limita a la identificación de las fechas y los hechos, sino que busca la explicación de la importancia de tales hechos en el desarrollo de la Biotecnología.

Así, durante el desarrollo de la segunda clase, efectivamente los estudiantes presentan las exposiciones de las líneas del tiempo de la historia de la Biotecnología que han elaborado como tarea.

En este sentido, los estudiantes mencionan tanto fechas como acontecimientos que hacen parte de la historia de la Biotecnología: Aparición de comunidades y de los primeros cultivos en el periodo de la edad de piedra denominado Neolítico. Fabricación del vino, cerveza, pan, yogurt, queso y domesticación de cultivos y animales en las culturas egipcias y griegas. Descubrimiento de los ácidos nucleicos y las proteínas en el siglo XIX. Introducción del término Biotecnología, en el año 1919. Producción de penicilina a escala en 1928. Descubrimiento de la estructura de la doble hélice del ADN y de la única cadena del ARN en 1953, dilucidación del código genético. Aislamiento de la primera enzima de restricción en 1970. Tecnología del ADN recombinante en 1973. Anticuerpos monoclonales en 1975. Modificación del Plásmido Ti para transformar plantas en 1983. Inicio de los estudios preparativos sobre la secuenciación del genoma humano en 1985. En 1988 se da la patente a USA para producir ratones modificados para el estudio del cáncer. En 1990 el Consejo Nacional de Estados Unidos lanza oficialmente el Proyecto Genoma Humano. En

1995 se describe por primera vez la secuencia del genoma de un organismo vivo, la bacteria *haemophilus influenzae*. En 1997 ocurre la clonación de la ovejita Dolly. En 1999, se describe la secuencia completa del cromosoma humano 22. En el Siglo XXI, en el año 2000 la compañía Celera Genomics comunica la secuenciación del genoma de *Drosophila* y el 26 de junio anuncia la secuenciación del genoma humano. En 2003 presentan la versión terminada del genoma humano. En 2007 se obtienen células madre embrionarias a partir de piel. En el 2013 y el 2014, ocurren avances acerca del estudio de células madre y de la secuenciación del genoma humano.

Cabe resaltar que durante las exposiciones los estudiantes mencionan los distintos datos, hechos y acontecimientos de la historia de la Biotecnología, de forma descontextualizada y lineal, sin hacer mención de relaciones entre ellos o con el desarrollo de la Biotecnología. A este respecto, podemos mencionar que Alejandra no amplía ni desarrolla los contenidos de enseñanza en función de la relación de tales acontecimientos con el desarrollo de la historia y la epistemología de la Biotecnología, con lo que, los contenidos de enseñanza se limitan a la transmisión de fechas y hechos asociados a la historia de la Biotecnología.

Al final de esta clase Alejandra entrega unas copias de unas diapositivas acerca de la Historia de la Biotecnología, en la idea de continuar con la construcción colectiva de una Línea del Tiempo de la Historia de la Biotecnología. Los estudiantes se centran en la información acerca de la domesticación de animales y cultivos en el periodo del Neolítico, preocupándose por escribir en el tablero algunos acontecimientos ocurridos con sus respectivas fechas, lo cual no posibilita el establecimiento de relaciones entre los hechos identificados y el desarrollo de la Biotecnología, dado que los estudiantes se limitan a enunciar datos y hechos.

- ***Aspectos sociológicos de la Biotecnología***

Respecto al aspecto sociológico de la Naturaleza de la Biotecnología señalamos el reconocimiento que Alejandra hace en sus clases de la relación de la Biotecnología con otros sistemas de la sociedad.

Así, por ejemplo, durante la primera clase Alejandra hace referencia a la influencia de la economía y la política en el desarrollo de la Biotecnología durante el siglo XX. Lo anterior dada la pregunta de un estudiante acerca de si se puede escribir en el listado del tablero de hechos de la historia de la Biotecnología la expresión los factores económicos, ante lo cual, la profesora valida ese conocimiento y sugiere que escriban “*los factores económicos, los factores políticos y sociales tuvieron influencia en el desarrollo de la Biotecnología en el siglo XX*” (Clase P1.C1).



Durante la segunda clase una estudiante le manifiesta a Alejandra que vio unas noticias acerca del uso de la placenta para la obtención de piel y acerca del trasplante a un perro de un marcapasos, ante lo cual le solicita a la estudiante que les comunique tal información a sus compañeros porque es interesante y porque eso también hace parte de la Biotecnología, de lo que inferimos, Alejandra considera que la información acerca de la Biotecnología también circula a través de los medios de comunicación.

Durante la décima clase Alejandra hace referencia a varios aspectos sociales relacionados con los biocombustibles. De esta manera, señala que los biocombustibles deben tener una característica importantísima, deben girar alrededor de algo que se llama el desarrollo sostenible, expresando que cuando está hablando de desarrollo sostenible, está hablando de satisfacer las necesidades de todas las generaciones de seres humanos, sin comprometer el futuro para atender esas propias necesidades.

A este respecto, señala también que, en esa sostenibilidad, deben estar implicadas tres cosas: lo ambiental, lo social y lo económico. En lo ambiental desde la viabilidad de los proyectos y en lo social y lo económico desde la equidad, haciendo referencia a que los recursos deben estar distribuidos para todos y con oportunidades para todos, lo que explica con un ejemplo, en el que se refiere a situaciones de la cotidianidad, como la posibilidad de estudiar y escoger una carrera, como una forma de satisfacer las necesidades sin poner en riesgo ni el futuro propio, ni el futuro de otras generaciones.

Al referirse a los biocombustibles de primera generación da como ejemplos el etanol de caña y el biodiesel de palma. A este respecto, y de manera particular señala que el problema de ese tipo de biocombustibles radica en que algunas de las plantas utilizadas como materia prima son plantas que proveen de alimento a la gente.

De manera adicional señala que, aunque los biocombustibles son de menor impacto en el uso del suelo y del agua, por lo que no son tan contaminantes, eso no quiere decir que no haya problemas de contaminación asociados a los biocombustibles, ya que hay problemas con algunos de ellos, por ejemplo, problemas de emisiones de CO<sub>2</sub> o de otro tipo de gases invernadero, señalando también que el problema está en que la tecnología utilizada para obtenerlos es bastante costosa y poco viable.

Continuando con la presentación, Alejandra señala que en algunos casos la biomasa es la materia prima para obtener los biocombustibles, y que hay tres tipos de fuentes de biomasa: los desperdicios, los bosques y la agricultura. En cuanto a los bosques señala que de los bosques se obtiene la celulosa y la lignina, manifestando que el problema está en que esto se puede convertir en una solución y en un problema, de acuerdo a los argumentos que señala en el siguiente fragmento:

“P.1: Porque las empresas van a terminar tumbando árboles y cultivando bosques de un montón de especies que no son nativas y que producen mucha celulosa y que se puede utilizar para producir biocombustible, si eso no está reglamentado, desde, desde la ética y desde el respeto por lo nuestro, ¿sí? desde la ética y desde lo ambiental debe estar regulado” (Clase P1.C10).

En la parte de agricultura, indica que van a obtener cultivos de plantas que produzcan muchísimo almidón como el maíz, o de plantas que produzcan azúcares como la caña, tal y como estamos haciendo en Colombia, ya que a la gasolina desde hace unos años le echan etanol, obtenido de los cultivos de las plantas de azúcar. En ese orden de ideas pregunta: *“¿qué ha pasado con el azúcar para la venta nuestra?”*, a lo que comenta que hace 5 años una libra de azúcar no costaba tanto como cuesta hoy en día, y luego pregunta: *“entonces, ¿qué hicieron?”*, señalando que como a las grandes productoras de azúcar les conviene más vender y les pagan un poco mejor, pues venden la caña de azúcar a los productores de bioetanol, lo que económicamente no significa equidad.

Durante su discurso señala también que al hablar de la biomasa empleada se genera la diferencia entre los biocombustibles, porque se puede obtener un biocombustible líquido, que es el biodiesel, el cual tiene la posibilidad de tener dos fuentes, una fuente que es la grasa animal, y otra que es la grasa vegetal, y que cuando hablan de aceites hidrogenados quiere decir que a esos aceites le han aplicado hidrógeno, más del que debería tener, para que puedan funcionar. A este respecto un estudiante pregunta: *profe, ¿y eso qué inconvenientes tiene?*

A lo que la profesora contesta que a nivel de biocombustible no hay ningún inconveniente, pero que a nivel humano si tiene una implicación médica y que más adelante van a mirar a qué se refiere colesterol bueno y colesterol malo.

Para finalizar la presentación pregunta: *“¿a qué tipo de Biotecnología me estoy refiriendo cuando hablo de biocombustibles?”*, a lo que los estudiantes responden que a la blanca, lo cual es validado por la profesora, señalando de manera adicional que quiere que entiendan que no toda la Biotecnología blanca gira alrededor de los biocombustibles, porque la Biotecnología blanca también se trata de las enzimas y de procesos industriales como la producción de jabón, pero, que una de las aplicaciones de la Biotecnología blanca son los biocombustibles.

Cabe señalar que al finalizar su presentación Alejandra enuncia lo siguiente: *“mi pregunta es, ¿cuál es el impacto ambiental en la producción de biocombustibles?, ¿será cierto que es tan bueno?, ¿será cierto que sus emisiones de gas, ehh, de gases invernadero no van a causar tanto daño?”* (Clase P1.C10).

Relacionamos entonces los señalamientos anteriores con cuestiones sociocientíficas asociadas a los biocombustibles, lo anterior dado que Alejandra plantea a los estudiantes las ventajas y desventajas de tal aplicación biotecnológica, aludiendo a aspectos científicos, tecnológicos y sociales asociados. Durante su discurso Alejandra también hace referencia explícita a la participación de sectores de la economía, la ética, y el medio ambiente (y quizás de la política, en términos de la regulación que menciona) en las cuestiones sociocientíficas alrededor de la producción de biocombustibles.

En este sentido, señala que en Colombia existen problemáticas relacionadas con los monocultivos destinados a la obtención de caña de azúcar para la producción de biocombustibles, con lo que involucra la economía, la industria de la caña de azúcar y la inequidad generada a través de dichos procesos industriales. Resaltamos, además, la reflexión con la que Alejandra cierra su exposición sobre los biocombustibles, a través de la cual plantea a los estudiantes la importancia de comprender el impacto ambiental de los biocombustibles y a partir de allí decidir si son realmente buenos.

De lo anterior, podemos decir, que de manera implícita Alejandra hace mención a las cuestiones sociocientíficas que las aplicaciones de la Biotecnología presentan a la sociedad.

De otra parte, cabe señalar, como ya dijimos, que durante la clase 12 Alejandra hace referencia a las consecuencias del *fracking* y a la biorremediación como alternativa de solución frente a la contaminación de cuerpos acuáticos con petróleo, lo que nos lleva a considerar que la profesora está abordando los usos de la biorremediación y del *fracking* como una cuestión sociocientífica, como podemos observar en el siguiente fragmento de la clase:

*“P.1 Bien, les voy a entregar el material. El primer material dice biorremediación, y el segundo material habla de qué es el fracking, qué es, para qué se utiliza, cómo lo hacen, y aquí me hablan específicamente de cómo extraen el gas con fracking, ¿está claro?, eh, este es un artículo de Greenpeace, y Greenpeace es una asociación ecologista que muestra su punto de vista, sin embargo hay que hablar que Greenpeace no solamente ha mostrado y ha desarrollado los problemas que tiene el fracking, eh también otro tipo de asociaciones e instituciones, y sin embargo hay gente que sigue pues con estas prácticas. Entonces, aquí tienen, qué es biorremediación, qué es fracking, para empezar a trabajar esas tres cosas: ¿Qué es?, voy a mirar fracking versus biorremediación, ¿qué tienen que ver eso?, ¿cuál es la relación?, acuérdense que estoy enfrentando una cosa con otra, entonces, fracking, qué es, características, y luego miramos a cuál, a qué tipo de Biotecnología pertenece. Me hacen el favor, vienen por su hoja, la marcan, se la llevan y empiezan a trabajar, en grupos de a dos, parejas, parejas, de a dos” (Clase P1.C12).*

De esta manera durante el transcurso de la clase la profesora aborda contenidos relacionados con la comparación entre *fracking* y biorremediación, particularmente en cuanto a las

definiciones y a las ventajas y desventajas de cada uno de los dos procesos (en términos de contaminación y remediación de cierta contaminación), como podemos notar en el siguiente fragmento, en el que dos de los estudiantes exponen su trabajo:

“E.1: Bueno, voy a hablar del versus entre fracking y biorremediación. Entonces, la biorremediación lo que hace es ayudar al medio ambiente, eh, limpiar, eh, como, como por así decirlo, regenera sí, por medio de plantas ¿sí? en microorganismos, metabólicamente, ¿sí? En cambio, el fracking lo que hace es contaminar los acuíferos, también hace, mmmm, que la tierra tenga movimientos sísmicos

P.1: Aja

E.1: Lo cual no es muy bueno, eh, contamina mucho el aire. Y en la biorremediación lo que hace es tener muy poca contaminación, y al mismo tiempo requiere de muy pocos componentes estructurales

P.1: Bueno. Y tú ¿qué opinas Harold?

E.10: Pues que la biorremediación se clasifica en la Biotecnología gris, porque la gris se encarga del medio ambiente

P.1: Bueno, entonces, el uno contamina y el otro limpia

E.1: El otro limpia sí señora

P.1: Sí, ¿Quién contamina?

E.1: El fracking

P.1: y ¿quién limpia?

E.1: Biorremediación

P.1: Eso era lo que necesitaba, háganme el favor y ténganlo muy presente...” (Clase P1.C12).

Reiteramos entonces que los contenidos de *fracking* y biorremediación son abordados por Alejandra como parte de una problemática sociocientífica, en la que señala que uno de los procesos contamina y el otro limpia, pareciendo que esta corresponde a una idea importante que la profesora quiere enseñar y que tiene relación con situaciones que la profesora contextualiza a partir del uso de la biorremediación en el tratamiento de los derrames de petróleo.

- **Contenidos conceptuales**

Respecto a los conceptos básicos de la Biotecnología que Alejandra abordó durante las clases sistematizadas, podemos señalar que estos derivaron principalmente, de su postura frente al desarrollo histórico de la Biotecnología, por lo que a partir del reconocimiento de los principales hechos que permitieron el desarrollo de la Biotecnología (Clases 1 y 2), Alejandra dio paso al contenido de Fermentación, y con ello a la enseñanza de diferentes contenidos tanto

conceptuales como procedimentales asociados a dicho proceso (Clases 3 a 8). Más adelante, y también en relación con la fermentación, Alejandra, estableció desarrollar el contenido de Biomoléculas (Clase 9), haciendo especial énfasis en los carbohidratos y en las diferencias entre las moléculas orgánicas y las moléculas inorgánicas. En las siguientes clases relacionó los carbohidratos con la fermentación y con la Biotecnología blanca, dando paso al tema de biocombustibles como una aplicación biotecnológica que hace parte de la Biotecnología blanca (Clases 10 y 11). En la última clase (Clase 12), hizo referencia a la relación entre los carbohidratos y el petróleo, lo que llevó a la caracterización y comparación de los procesos industriales de biorremediación y *fracking*, señalando la biorremediación como proceso biotecnológico.

De acuerdo con lo anterior, a continuación, describiremos la secuencia de contenidos básicos de la Biotecnología que Alejandra desarrolló durante las clases sistematizadas.

Durante la segunda clase, en la que los estudiantes presentan sus exposiciones sobre las líneas del tiempo de la Biotecnología Alejandra manifiesta:

*“P.1: Bueno y para este viernes en 15 días hacer nuestro laboratorio de fermentación y miramos qué fue lo que vieron los egipcios, y por qué y cómo dilucidaron que había dióxido de carbono, y cómo podemos nosotros mirar eso ahora, ¿está claro chicos? Eso es un ejercicio sencillito”* (Clase P1.C2).

Con lo que, la fermentación surge como un concepto básico de la Biotecnología en el que Alejandra profundiza por ser uno de los acontecimientos que incluye desde su abordaje de la Historia de la Biotecnología. En el caso de la fermentación en particular, notamos que en el transcurso de las clases se establece una relación entre Historia de la Biotecnología –Teoría – Actividad práctica (como veremos en el apartado de contenidos procedimentales), con lo que se pone en evidencia que la secuencia de contenidos de enseñanza gira en torno a contenidos asociados al aspecto epistemológico de la Naturaleza de la Biotecnología.

Desde esta perspectiva, durante la tercera clase, Alejandra enuncia que van a abordar contenidos conceptuales en relación con la fermentación, entre ellos la definición, tipos de fermentación, procesos químicos de la fermentación, diferencias entre fermentación y respiración y entre procesos aerobios y anaerobios.

Así, en las clases 3, 4 y 5 presenta a los estudiantes una V Heurística acerca de la fermentación. Durante las clases 3 y 4 desarrolla el concepto de fermentación, de manera que en la clase 3 realiza junto con los estudiantes la lectura presente en la V heurística, aproximando a los estudiantes a la definición de fermentación:

*“P.1: Empecemos pues con la lectura de la teoría.”*

E.6 (Leyendo): La fermentación es un proceso catabólico (rompimiento de compuestos complejos a compuesto sencillos) oxidativo (intercambio de electrones) de cuyo resultado obtenemos un compuesto orgánico. El producto final varía según el sustrato. En los seres vivos, la fermentación es un proceso anaeróbico donde no interviene el proceso de respiración celular. Son propias de los microorganismos, como las bacterias y las levaduras. Aunque bajo ciertas condiciones este proceso puede darse en el tejido muscular de los animales, esto ocurre cuando hay insuficiencia de oxígeno a las células musculares. Bajo estas circunstancias se produce ácido láctico, el cual se acumula en nuestros músculos y es el causante del dolor.

P.1: Bien, hasta ahí. Volvamos nuevamente a leer, despacio y con calma a qué se refiere la fermentación. (Clase P1.C3).

Por su parte, en la clase 4 solicita a los estudiantes la construcción de unos mapas conceptuales acerca de la fermentación y luego la elaboración individual de un párrafo de 7 renglones, con el cual den respuesta, a partir de la información del mapa conceptual, de la V heurística y del texto de divulgación científica, a la primera pregunta de la V heurística: ¿qué es fermentación?

“P.1: [...] Nos lees por favor lo que escribiste

E.9: ¿Qué es la fermentación? La fermentación son procesos metabólicos que son para transformar compuestos químicos como el azúcar, el ácido láctico, el etanol, y el ácido butírico. Dentro del proceso metabólico se encuentra un proceso llamado catabólico, el cual sirve para la oxidación de algunas sustancias, como lo son las bacterias y las levaduras en un proceso anaeróbico. También la fermentación nos sirve como proceso para preservar alimentos, producir bebidas y producir antibióticos.

P.1: Bien, eh, observaciones al respecto” (Clase P1.C4).

Vale la pena señalar que si bien el título del documento que están leyendo es: “Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café”, la definición de fermentación es presentada desde la Biología, sin establecer alguna relación explícita con la Biotecnología, con la cual aclarar a los estudiantes, por ejemplo, que durante la producción comercial de café participan microorganismos que bajo ciertas condiciones, desarrollan procesos fermentativos que mejoran las condiciones organolépticas del grano de café.

Durante la quinta clase Alejandra aborda los tipos de fermentación (fermentación láctica, alcohólica y acética), identificando sus productos iniciales y finales. En ese orden de ideas solicita a los estudiantes que trabajen en grupos y que elaboren unas carteleras al respecto, empleando como fuente la información de la tabla de la página 9 del documento “Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café”.

El título de la tabla llama la atención, en cuanto a la relación entre la fermentación y varios procesos industriales: *Tipos de fermentación y sus productos industriales*. Sin embargo, Alejandra no establece tal relación, de suma importancia en la enseñanza de la Biotecnología.

Durante la octava clase, Alejandra presenta a los estudiantes un blog sobre la fermentación de la página de la Universidad Nacional Autónoma de México. Aparecen así conceptos asociados a la lectura que hacen del link del blog, titulado aspectos generales de la fermentación, entre ellos, los tipos de respiración celular, la aerobia y la anaerobia, aclarando que la fermentación pertenece a éste último tipo.

El blog también menciona que la fermentación ha sido utilizada por el ser humano en la producción de cerveza, vino, queso y yogurt, procesos que implican el uso de bacterias o levaduras con el fin de convertir un producto natural en un producto fermentado, información que no es ampliada ni desarrollada por la profesora.

Según el blog, la fermentación puede clasificarse de acuerdo al tipo de producto en: Láctica y Alcohólica. Cuando la profesora aborda la información del blog acerca de la fermentación láctica, presenta como contenidos a manera de datos los significados de las siglas de las coenzimas NAD y NADH, acto seguido, explica un esquema en el que se aprecia la conexión entre la reacción química global de la glucólisis y la reacción química global de la fermentación láctica, al explicar habla del rompimiento de la glucosa, de la formación de ATP a partir de dos moléculas de ADP y dos moléculas de fósforo, de la obtención de ácido láctico, y de la formación de ácido pirúvico.

Vale la pena señalar que nuevamente, los contenidos de enseñanza están centrados en conceptos de la Biología y la Bioquímica.

Durante la novena clase Alejandra aborda los tipos de moléculas orgánicas que constituyen los seres vivos. En este sentido, hace énfasis en que son cuatro los grupos de moléculas que forman a los seres vivos: los ácidos nucleicos, los hidratos de carbono, los lípidos y las proteínas. En el transcurso de la clase manifiesta que, dado que todavía no saben las características de las moléculas orgánicas, van a leer otro documento, así, la fuente de contenidos durante este episodio es el documento titulado “Las moléculas de la vida. Impactos y problemas”, del cual se leen algunos apartados, señalando que van a leer y a tratar de dilucidar las características de los cuatro grupos de moléculas de los que trata el documento. Con referencia a los carbohidratos la profesora orienta la discusión al significado de materiales estructurales y a la relación entre azúcares y carbohidratos, señalando que había una pregunta pendiente: “¿los azúcares y los carbohidratos son lo mismo?” Algunos estudiantes se expresan al respecto, pero la discusión no es concluyente, en el sentido que en sus respuestas no aparece una relación concreta entre los azúcares y los carbohidratos.

Durante la décima clase Alejandra parte nuevamente del proceso de la fermentación para presentar los nuevos contenidos de enseñanza. De esta manera, busca establecer relaciones entre el trabajo experimental que hicieron sobre fermentación durante las clases 4 y 5, las aplicaciones industriales de la fermentación, los biocombustibles y la Biotecnología blanca. En este orden de ideas, realiza una presentación sobre los biocombustibles en la que hace referencia a varios conceptos, entre ellos, desarrollo sostenible, biocombustible, petróleo, las diferencias entre los biocombustibles y el petróleo, hidrocarburos, biomasa, combustibles fósiles, características del petróleo como combustible fósil, clasificación de los biocombustibles (características de los combustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación), clasificación de la biomasa para la obtención de biocombustibles (los desperdicios, los bosques y la agricultura), características y clases de biocombustibles de acuerdo al tipo de biomasa utilizada para su obtención (combustibles sólidos, combustibles líquidos y combustibles gaseosos), relación entre la Biotecnología blanca y los biocombustibles y funciones de la Biotecnología blanca.

Es importante recordar, que durante su presentación Alejandra aborda la temática de los biocombustibles desde la perspectiva de las cuestiones socio-científicas.

Durante la clase 11, Alejandra continua la enseñanza sobre los biocombustibles y además menciona que en la segunda parte de la clase van a mirar la generalidad de los hidratos de carbono, pues habían quedado de comenzar el estudio de las biomoléculas. De esta forma, durante la clase aborda conceptos asociados a los biocombustibles entre ellos: Combustibles fósiles, el petróleo, combustibles no renovables y combustibles sí renovables y, desarrollo de energías alternativas. El texto leído también presenta una comparación entre combustibles fósiles y biocombustibles, señalando al mismo tiempo una definición de biocombustibles y una definición de biomasa. Adicionalmente se hace mención a los tipos de biocombustibles, a los usos de la leña como biocombustible, a la obtención del carbón vegetal a partir de los bosques y a la reforestación.

Respecto a la enseñanza de los biocombustibles es necesario señalar, que a diferencia de la clase anterior (clase 10), en la clase 11 Alejandra no aborda ésta temática desde una perspectiva sociocrítica, lo anterior teniendo en cuenta que el enfoque del documento que leen incluye aspectos sociocientíficos, pero la información no se presenta de manera crítica, sino más bien desde una perspectiva de los beneficios de los biocombustibles como alternativas al petróleo, el cual, además de ser un combustible fósil, es generador de contaminación.

De otra parte, cabe mencionar, que tal y como lo enuncia al inicio de la clase, Alejandra plantea la existencia de alguna relación entre los carbohidratos como biomolécula y los biocombustibles. En este sentido, al final de la clase reitera que un grupo de moléculas que hacen parte de las biomoléculas son los carbohidratos, y que quiere que tengan pendiente la siguiente pregunta



para la próxima clase: “¿Qué relación tienen los carbohidratos como biomolécula con los biocombustibles?” (Clase P1.C11).

Durante la clase 12 efectivamente Alejandra comienza planteando relaciones entre los carbohidratos, el petróleo y los combustibles fósiles, tal y como podemos observar en el siguiente fragmento de la clase:

“P.1: Los ubico, estamos hablando de hidrocarburos, y estamos hablando de carbohidratos, vuelvo y les repito, cuando estamos hablando de hidrocarburos estamos hablando del petróleo, ¿por qué estoy insistiendo en estos dos grupos?, porque resulta que así como hay beneficios, también hay perjuicios, el uno es fósil, el otro no, entonces, cuando yo estoy hablando de hidrocarburos, estoy hablando de combustibles fósiles, estoy hablando de aquellos combustibles que son producidos a grandes presiones, a grandes profundidades, a altas temperaturas, por descomposición de organismos vivos. Por eso se llaman fósiles, ehh, durante un lapso de tiempo” (Clase P1.C12).

En el transcurso de la clase Alejandra enuncia que el tema de la clase será la comparación entre el *fracking* y la biorremediación, así como la argumentación acerca de qué tipo de Biotecnología se aplica cuando se hace biorremediación, posibilitando de esta manera la identificación de características generales de la Biotecnología y su particularización en el proceso de biorremediación.

En este sentido, Alejandra presenta el concepto de biorremediación señalando que: “cuando estoy hablando de biorremediación, estoy hablando de hacer algo por construir, por solucionar un problema de contaminación con algo que se llama petróleo” (Clase P1.C12).

Indica además que alrededor del petróleo también se desarrollan algunas prácticas para obtener algunas cosas que están acompañando a ese petróleo, y que, a la práctica, de extraer el gas se le llama *fracking*, la cual ha tenido consecuencias ecológicas, de formación de suelo, de desequilibrio ambiental y de desequilibrio en los suelos que han ocasionado algunos problemas en cuestiones de agricultura.

Los contenidos derivan entonces de la información contenida en dos documentos facilitados por la profesora, que los estudiantes deben leer para identificar las diferencias entre el *fracking* y la biorremediación, así como el tipo de Biotecnología al que pertenece la biorremediación.

- **Contenidos procedimentales**

Dentro de los contenidos procedimentales abordados por Alejandra, señalamos aquellos relacionados con las competencias y habilidades para el trabajo en grupo. En este orden de ideas,

durante la primera clase, Alejandra señala a los estudiantes que van a trabajar en grupo, por lo que les presenta las funciones y las capacidades de cada uno de los integrantes de acuerdo al rol desempeñado: director científico, secretario, encargado de materiales y vocero. Así, indica que el director científico es el responsable de organizar el trabajo en su grupo, que el secretario, es el responsable de tomar los apuntes, de revisar qué es lo que su grupo está aportando, cómo es que su grupo va a organizar el trabajo y debe hacerlo por escrito, ya que en cada clase el grupo debe hacer un acta de trabajo que le deben presentar al final de la clase. Que el responsable del material, está encargado de distribuir qué material le corresponde traer a cada uno, y que el vocero es quien pasa al frente a comunicar el trabajo de su grupo, cómo hicieron el trabajo, las conclusiones a las que llegaron y el resultado que obtuvieron.

En esa misma clase Alejandra solicita a los estudiantes que revisen en su grupo las personas que tienen las habilidades de las que les ha estado hablando: la capacidad de ser buen organizador de trabajos; de recoger la información, ser sintético y obtener la mejor información de lo que se dice; de ser metódico en la organización de los materiales y; de poder producir y expresar lo que se está hablando.

Cabe mencionar, además, que durante sus clases Alejandra reitera explícitamente que los estudiantes deben desarrollar cuatro habilidades comunicativas: saber leer, saber hablar, saber escribir, saber escuchar. Es de señalar, que las habilidades comunicativas son presentadas en el documento marco del énfasis como parte de los objetivos del énfasis en Biotecnología, tal y como podemos notar en el siguiente apartado del documento:

*“Este énfasis [Biotecnología] tiene el objetivo de promover en el estudiante el desarrollo de las habilidades comunicativas, el descubrimiento y crecimiento de actitudes científicas, la concienciación de la importancia y el avance de la Biotecnología como herramientas para proponer y ejecutar soluciones creativas e innovadoras a problemas socio-ambientales de su entorno, que contribuyan al bienestar propio y de la comunidad”.*

Con lo que los contenidos de enseñanza procedimentales que Alejandra aborda se encuentran en estrecha relación con los lineamientos del énfasis en Biotecnología de la institución escolar.

No obstante, cabe señalar que durante la clase no observamos el empleo de estrategias encaminadas a la enseñanza de las capacidades relacionadas con los diferentes roles (director científico, secretario, encargado de materiales y vocero) de los integrantes de los grupos de trabajo indicados por la profesora, lo que nos lleva a señalar que no ocurre un ejercicio didáctico orientado a la enseñanza y aprendizaje de estos contenidos procedimentales y que el abordaje que realiza la profesora durante la primera clase se limita principalmente a la mención de los contenidos procedimentales que espera que los estudiantes aprendan.

Como ya habíamos señalado, durante la segunda clase Alejandra enuncia que van a hacer una práctica de laboratorio relacionada con la fermentación, dada la reiterada mención de tal contenido durante las exposiciones de las líneas del tiempo que hacen los estudiantes. Por consiguiente, durante la tercera clase, mientras presenta las actividades de la V heurística señala que en la parte 4, que dice procedimientos realizados, van a buscar prácticas de laboratorio relacionadas con los tipos de fermentación, y que van a construir los diagramas de flujo correspondientes al procedimiento que deben llevar a cabo y a elaborar las respectivas tablas de datos. Durante las clases cuarta y quinta solicita a los estudiantes la consulta sobre prácticas de laboratorio sobre fermentación como tarea, indicando que deben explicar para cada caso, cómo harían el proceso de fermentación, es decir los procedimientos y, los productos obtenidos.

De esta manera, luego del abordaje conceptual respecto a los procesos fermentativos que hace en las clases 3, 4 y 5, durante las clases 6 y 7 Alejandra lleva a cabo una práctica de laboratorio acerca de las clases de fermentación: láctica, acética y alcohólica.

Así, durante la sexta clase los contenidos de enseñanza de tipo procedimental se refieren a los protocolos de higiene con los cuales se evita la contaminación de los productos a obtener. Alejandra señala que la importancia de tener cierto protocolo de higiene radica en que si no se evita la contaminación no van a poder observar lo que quieren observar. Más adelante señala que la higiene consiste en limpiar las mesas, primero con jabón y luego con alcohol, y posteriormente poner dos mecheros de alcohol prendidos en el centro de la mesa.

Tener en cuenta un protocolo de higiene da muestra del reconocimiento de la acción de los microorganismos presentes en el ambiente y de sus posibles acciones durante los procesos fermentativos, los cuales podrían alterar los resultados esperados. Con esto, la determinación de Alejandra se dirige al control de variables externas que podrían influir en los resultados, sin embargo, cabe señalar que no especifica, ni profundiza en las posibles acciones de los microorganismos presentes en el ambiente en los procesos fermentativos que pretende estudiar.

Alejandra enseña también a los estudiantes cómo utilizar una de las estufas, haciendo referencia al control de temperatura y a la forma de alcanzar la temperatura deseada, lo cual señala, no se hace de la misma manera en la otra estufa. Indica además algunas de las partes que componen la autoclave y en alguna medida la función de esas partes, no obstante, durante la explicación no da a entender para qué se utiliza una autoclave y solamente menciona que el material ya está esterilizado, sin hacer referencia a lo que eso significa.

Otros contenidos que Alejandra desarrolla se refieren a procedimientos que hacen parte de la práctica de laboratorio, entre ellos: lavar los corchos y esterilizarlos antes de colocárselos a los erlenmeyers en los que van a preparar el yogurt; marcar los erlenmeyers con el número de

muestra y los componentes; trabajar cerca al mechero para evitar la contaminación y, cómo hacer tapones de gasa.

Es importante señalar que en ninguno de los casos los contenidos de enseñanza procedimentales enseñados hasta acá son abordados desde una fundamentación teórica, es decir, no se menciona explícitamente por qué es importante lavar y esterilizar los corchos, ni tampoco se hace mención al significado del término esterilización.

De igual manera, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento, a pesar que Alejandra insiste en que si no tapan las muestras o no trabajan cerca al mechero se les van a contaminar, en ningún momento explícita cuáles podrían ser las fuentes de contaminación y las consecuencias de dicha contaminación en los resultados esperados, manifestaciones, que serían útiles en la comprensión de la razón e importancia de los procedimientos realizados.

“P.1: Ya les consigo los, ehh, corchos para que tapen el frasco y no haya ningún problema, pero esos corchos los deben lavar y con alcohol los esterilizan antes de colocárselos a cada uno de los frascos, ¿listo?, y por favor los miden, mídanlos, aquí hay un erlenmeyer de muestra para que midan el corcho y vean que les queda bien y que no se les va a hundir o les va a quedar ahí trabado, sino que lo puedan sacar después, ¿listo?” (Clase P1.C6).

Durante la clase, Alejandra aborda algunos contenidos conceptuales a manera de datos. A través de las preguntas que hace indaga particularmente por: nombre de la fermentación que están haciendo, sustrato de esa fermentación, qué clase de azúcar es la lactosa, nombres de los monosacáridos que forman la lactosa y producto de la fermentación láctica. No obstante, en lo observado no se evidencia apropiación de conceptos de parte de los estudiantes, quienes solo se limitan a repetir información previamente informada.

De esta manera, aunque Alejandra busca establecer ciertas relaciones entre los contenidos conceptuales y los procedimentales, llama la atención que no hubo un abordaje en cuanto a la participación de las bacterias en la obtención del yogurt, lo que nos lleva a considerar que está centrada en la comprensión de la relación sustrato - producto de la fermentación, pero no en elementos de la Naturaleza de la Biotecnología. Lo mismo sucede en cuanto a la fermentación acética, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

“P.1: Bien, escúchenme por favor, y miren acá, miren, vamos a seguir, a continuar nuestro trabajo y es con la fermentación acética, o sea que vamos a obtener ¿qué?”

E.5: vinagre

P.1: Vinaigre, y ¿cómo se llama el vinaigre químicamente?

E.5: ehhh, ácido acético

P.1: ¿ácido qué?

Estudiantes: acético.

P.1: acético” (Clase P1.C6).

En cuanto a los contenidos procedimentales que tienen que ver con la fermentación acética Alejandra da las indicaciones para la preparación del sustrato, también enseña cómo realizar la inoculación, por lo que señala que deben flamear la cuchara con la que van a introducir la levadura, señalando que: *“flamear quiere decir que la ponemos en la, en la llama para calentarla y desinfectarla”* (Clase P1.C6).

A raíz de la pregunta de uno de los estudiantes, Alejandra explica cuál es la función de los mecheros que les hizo tener prendidos en las mesas de trabajo, lo cual se constituye en otro contenido de enseñanza de tipo procedimental:

*“E.3: ¿Profe y para qué son los mecheros?”*

P.1: Los mecheros son para garantizar que alrededor tuyo no hay contaminación y que no vas a... y que la contaminación que le vas a agregar a tu muestra problema es mínima” (Clase P1.C6).

Durante la siguiente clase Alejandra da continuación a la práctica de laboratorio, de esta manera, inicialmente reitera a los estudiantes que deben trabajar cerca al mechero para que no haya contaminación, en este sentido, menciona que *“el calor disminuye la contaminación por hongos”* (Clase P1.C7), contenido que no había abordado en la clase anterior, y que permite a los estudiantes cierta comprensión del uso de los mecheros.

En esta clase Alejandra enseña a los estudiantes a describir las observaciones sobre las muestras en términos de cantidad de fases (mezclas homogéneas o heterogéneas) y características de las fases, así, en uno de los episodios de la clase, Alejandra solicita a los estudiantes que hagan observaciones y que realicen comparaciones entre las muestras observadas:

“P.1: [...] cuéntenme qué observan, si hay burbujas de gas, si hay un leve olor a alcohol, si está fermentándose, ¿cómo puedo yo decir que está fermentándose?” (Clase P1.C7).

Sin embargo, esta situación experimental, de enorme potencial en cuanto a la comprensión de relaciones proceso fermentativo – producto obtenido, ya abordadas en las clases 4 y 5, no se concreta en contenidos que permitan a los estudiantes comprender cuáles son los gases que se están desprendiendo, o a qué se debe el olor a alcohol que perciben.

Con lo anterior, señalamos que durante esta clase no se desarrollan contenidos de enseñanza con mayor relación con la Biotecnología como: proceso fermentativo, proceso productivo, fermento, entre otros, por lo que en términos generales los contenidos de enseñanza aparecen en un nivel de complejidad inicial o de perspectiva técnica de la producción.

- **Contenidos actitudinales**

Son escasos los contenidos actitudinales que Alejandra aborda durante sus clases, en este sentido, a través de la sistematización encontramos tres episodios de las clases en los que hace referencia explícita a actitudes, normas o valores que pretende enseñar.

Los dos primeros, durante la segunda clase, en el primer episodio, cuando les enseña a los estudiantes a valorar las exposiciones que realizan los compañeros sobre las Líneas del Tiempo de la historia de la Biotecnología, cuando los insta a valorar el trabajo de las compañeras que están exponiendo: “resaltando lo bueno, lo positivo, resaltando lo que puede mejorarse, y resaltando en lo que de pronto cometieron un error, y pues tienen ese tipo de equivocación, ¿listo?, entonces por favor. No es solamente criticar, por favor tomamos apuntes, hacemos preguntas, si alguien tiene que interrumpir la exposición, la interrumpe y les pregunta a ellas con toda la decencia del mundo, listo queridas” (Clase P1.C2.1).

El otro, en el cuarto episodio en el que está dando las indicaciones respecto a la elaboración de la Línea colectiva del tiempo de la historia de la Biotecnología, cuando señala a dos de los estudiantes que ha designado como líderes del trabajo:

“P.1 [...] Van a ser responsables, van a ser responsables de la organización de esa línea, van a distribuir trabajos entre sus compañeros y van a buscar consenso y opiniones, qué nos hace falta, cómo hacemos, si lo ponemos antes de qué, o después de qué, esto para qué nos sirve, distribuir responsabilidades dentro de sus compañeros, ustedes son los encargados de organizar, son los encargados de dirimir los conflictos que de pronto se puedan presentar, pero todos son responsables de trabajar, ¿está claro hasta ahí?, bien” (Clase P1.C2.4).

De manera que, Alejandra enuncia valores como la responsabilidad y actitudes que los estudiantes deben aprender a través de la organización del trabajo en grupo.

El tercero, durante la sexta clase, en la que están realizando la práctica de laboratorio sobre fermentación, el cual tiene que ver con el hecho de que no se debe comer en el laboratorio, aunque allí no haya organismos patógenos, de lo cual, aparece un contenido de enseñanza conceptual del tipo datos, ya que la profesora les informa la definición de patógeno.

“P.1: Listo, Ayra y compañía limitada, en el laboratorio no se come, aquí no hay organismos patógenos, pero no se debe comer, ¿saben qué es lo patógeno? Que causan enfermedades, que causan infecciones”.

En ese orden de ideas reiteramos que durante el transcurso de las clases Alejandra abordó contenidos directamente relacionados con la Biotecnología, esto es, tópicos específicos. Así, durante las clases 1 y 2 Alejandra desarrolló contenidos asociados a la Historia de la

Biotecnología, en la clase 1, lo hizo desde una perspectiva sociocrítica, contemplando aspectos de la Naturaleza de la Biotecnología, tanto a nivel histórico como a nivel epistemológico, mientras que en la clase 2, lo hizo desde una perspectiva tecnológica, pues si bien aparece una fundamentación conceptual respecto a la historia de la Biotecnología, no hay problematización ni cuestionamiento de los hechos y acontecimientos abordados en relación con el desarrollo de la Biotecnología. Lo anterior conlleva a que en el mapa del CDC en acción de la clase 1 (Figura 7), las relaciones que incorporan al componente contenidos de enseñanza tengan una complejidad de referencia, incluida la relación Contenidos a Estrategias, que no se observa en la clase 2; en esta clase, por su parte, y de acuerdo al mapa del CDC en acción (Figura 8), observamos menos tipos de relaciones que incorporen al componente contenidos de enseñanza, las cuales tienen una complejidad intermedia, e inicial, para el caso de evaluación a contenidos (relación que discutiremos en el apartado de conocimiento sobre la evaluación).

De otra parte, durante las clases 3 a 7, Alejandra se refiere particularmente a la Fermentación como contenido de enseñanza. Como ya hemos señalado, en el transcurso de las clases 3, 4 y 5 aborda aspectos conceptuales de la fermentación, en términos de su definición, sus tipos y las relaciones microorganismo – sustrato - producto, contenidos de enseñanza que consideramos, no están en el plano de la transmisión de información, y que tampoco problematiza ni relaciona con aspectos sociales de la Naturaleza de la Biotecnología, por lo que desde nuestra interpretación, las relaciones observadas en los mapas correspondientes (Figura 7) tienen una complejidad intermedia. Como ya vimos, durante las clases 6 y 7, Alejandra desarrolla una práctica de laboratorio, en la que los contenidos procedimentales son abordados de manera transmisiva, a partir del seguimiento de un protocolo diseñado por ella, y en la que los estudiantes se limitan a seguir las instrucciones dadas por la profesora.

En estas clases apreciamos que, pese a que Alejandra desarrolla el contenido de fermentación desde lo procedimental, no establece relaciones concretas entre los procedimientos realizados y la naturaleza de la fermentación, y por tanto de la Biotecnología, es decir, no profundiza, por ejemplo, en la acción de los microorganismos como agentes necesarios en los procesos fermentativos (por lo cual dichos procesos pueden ser catalogados como biotecnológicos); ni en las relaciones de especificidad entre microorganismo, sustrato y producto, o entre los procesos fermentativos y los procesos productivos que pueden ser llevados a escala comercial, por lo que, como podemos observar, en los mapas de estas dos clases, las relaciones que establece el componente contenidos de enseñanza son de complejidad tanto inicial como intermedia, en la medida que Alejandra intenta conceptualizar los procedimientos, aunque desde unos contenidos alejados tanto de la fermentación como de la Biotecnología, como en el caso de la observación y descripción de los resultados en términos de las fases presentes en los fermentos. En este orden de ideas, nos preguntamos: ¿cuál es el sentido de destinar dos clases a esta práctica de laboratorio, cuando no se relaciona de manera explícita con el proceso de la fermentación?

En la clase 8 Alejandra da paso al tema de la clasificación de la Biotecnología por colores, el cual desarrolla también durante la clase 10. Cabe recordar que en la clase 8 presenta a los estudiantes dos videos, uno sobre la clasificación de la Biotecnología por colores, y otro sobre los biocombustibles, tema que, como ya hemos dicho, también retoma durante la clase 10. Cuando Alejandra se refiere a la clasificación de la Biotecnología por colores, no establece una problematización de las implicaciones de la Biotecnología en distintos sectores de la sociedad, ni tampoco explicita relaciones entre el conocimiento biotecnológico y la comercialización de productos y servicios, razón por la cual en el mapa de la clase 8, catalogamos la mayoría de las relaciones establecidas por el componente contenidos de enseñanza con complejidad intermedia. En contraste, cuando se refiere a los biocombustibles, en la clase 10, lo hace desde una perspectiva socio crítica, en la medida que problematiza su producción planteando, como ya señalamos cuestiones sociocientíficas al respecto, lo que conlleva a que en el mapa de esta clase (Figura 7) apreciemos que la mayoría de las relaciones entre el componente contenidos y los otros componentes tienen complejidad de referencia.

Durante la clase 11 Alejandra también desarrolla el tema de los biocombustibles, sin embargo, en esta clase no hay problematización ni cuestionamientos al respecto, lo que hace que en el mapa de esta clase (Figura 7) las relaciones entre el componente contenidos de enseñanza y los demás componentes sean de complejidad intermedia.

Por su parte, en el transcurso de la clase 12, Alejandra aborda la comparación entre el *fracking* y la biorremediación (proceso que relaciona con la Biotecnología blanca), desde una perspectiva socio crítica, con la que busca que los estudiantes reflexionen en cuanto a las ventajas y desventajas de ambos procesos. Dado que en esta clase Alejandra problematiza los procesos en mención, observamos que algunas de las relaciones entre el componente contenidos y otros de los componentes son de complejidad de referencia.

En cuanto a los contenidos actitudinales tópicos-específicos, señalamos, como ya dijimos, que son escasos y además que, desde nuestra interpretación, Alejandra nos los pone en cuestionamiento ni busca la reflexión crítica de los estudiantes al respecto.

#### **4.1.2.2.1.3.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza**

El análisis del mapa del CDC en acción de la profesora Alejandra (Figura 8) y de la Figura 10 nos deja ver, que en el CDC en acción de la profesora Alejandra, un 30,1% del total de las relaciones son establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, lo cual conlleva a que éste sea el componente mayoritario. Como ya dijimos, este componente establece relaciones con todos los otros componentes del CDC, lo que indica que es un componente central en la integración del CDC en acción de Alejandra. Lo anterior puede ser debido a la preocupación de Alejandra por la



actualización respecto a las estrategias de enseñanza tanto de las Ciencias Naturales como de la Biotecnología, que pusimos en evidencia durante la descripción del caso y que también se hace evidente en la observación de su práctica docente.

En este orden de ideas, en primera instancia, debemos destacar la diversidad de estrategias empleadas por Alejandra en el desarrollo de sus clases, tales estrategias estuvieron a su vez conformadas por diferentes actividades y generalmente orientadas por la presentación de manera explícita de propósitos de enseñanza relacionados con la Biotecnología.

Una revisión juiciosa de la sistematización de las 12 clases de Alejandra nos permite clasificar sus estrategias de enseñanza en seis grandes grupos:

1. Línea del Tiempo de hechos históricos que han facilitado el desarrollo de la Biotecnología
2. V Heurística sobre la fermentación
3. Práctica de laboratorio sobre clases de fermentación
4. Infografías sobre la clasificación de la Biotecnología por colores
5. Uso de herramientas TIC
6. Uso de textos de divulgación científica

Cabe señalar que durante todas las clases observadas Alejandra insistió en el trabajo en grupo como una estrategia general. Es así como, al inicio de la primera clase, Alejandra comunica a los estudiantes que van a trabajar en grupos de 4 personas, cada una de las cuales desempeñará un rol específico y estará a cargo de unas responsabilidades y/o actividades, de acuerdo al rol escogido. De esta manera, los roles, a los que se refiere son: director científico, secretario, responsable del material y vocero.

Dado que a través de la sistematización nos surge la necesidad de corroborar la razón por la que la profesora plantea dicha estrategia, similar a la planteada en el programa de formación de docentes de Ciencias Naturales de la Universidad de los Andes denominado Pequeños Científicos, el cual está orientado a la incorporación del modelo de enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI) en las prácticas docentes, durante el encuentro realizado con algunos profesores de la EME el 18 de mayo de 2016 en las instalaciones del colegio, indagamos al respecto, y la siguiente fue la respuesta que obtuvimos:

*“P.1: [...] yo no me puedo alejar de lo que hasta el momento he recibido, ahora, que yo vaya a hacer todo por indagación como en pequeños científicos, no, pero sí, lo que decía la coordinadora, hay elementos valiosos, que de ahí hemos tomado, entonces si hay cosas valiosas que de ahí hemos tomado pues las vamos a continuar trabajando, pero no estoy casada con esa metodología, ni estoy casada con ese enfoque pedagógico, pero no desconozco que sí hay cosas importantes...”*

Con lo que, pudimos notar que la estrategia planteada por Alejandra estaba influenciada por el programa de pequeños científicos, la cual, de acuerdo con lo enunciado, busca que cada estudiante adquiriera una responsabilidad dentro del grupo y potencialice sus capacidades al mismo que tiempo que trabaja en grupo. En este sentido, vale la pena señalar que en la capacitación ofrecida por el programa de pequeños científicos se propone que los niños trabajen en grupos de 4, para que aprendan más, pues así logran involucrarse de manera más activa y se benefician del trabajo con sus compañeros; adicionalmente se propone que si cada uno de los niños tiene que cumplir con un papel específico se desarrolla el sentido de la responsabilidad y una buena interacción con los demás miembros del grupo.

Siguiendo con la presentación del conocimiento de Alejandra sobre las estrategias de enseñanza, a continuación, describiremos los aspectos más relevantes de cada uno de los tipos de estrategias empleadas durante las clases sistematizadas.

- ***Línea del tiempo de hechos históricos que han facilitado el desarrollo de la Biotecnología***

Como ya hemos mencionado, durante las primeras dos clases Alejandra acudió a la construcción de Líneas del Tiempo como estrategia de enseñanza de contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, tanto en su aspecto epistemológico, como en su aspecto histórico.

De esta manera cabe señalar, que la estrategia estuvo compuesta por diversas actividades, entre ellas, lectura de documentos de divulgación científica, tanto de manera colectiva, como de manera grupal, bajo el acompañamiento de la profesora, a través de preguntas abiertas y cerradas y, durante la primera clase, identificación y construcción de una lista de hechos que han permitido el desarrollo de la Biotecnología, y en la segunda clase, exposiciones de las Líneas del tiempo de la Historia de la Biotecnología elaboradas por los estudiantes como tarea, así como la construcción colectiva de una Línea del tiempo de la Historia de la Biotecnología.

En la primera clase, y una vez los estudiantes determinan los roles que van a desempeñar dentro de los grupos conformados, Alejandra enuncia a los estudiantes que tiene dos objetivos para la clase, el primero relacionado con la identificación de los principales hechos que facilitaron el desarrollo histórico de la Biotecnología, y el segundo con la construcción de una línea del tiempo en la que ubiquen esos hechos.

A través del dictado de los objetivos Alejandra busca enfocar la atención de los estudiantes, generando en ellos expectativas adecuadas acerca de lo que van a aprender, encaminando al mismo tiempo el trabajo de la clase.

En este orden de ideas, Alejandra acude a la lectura de un texto de divulgación científica llamado *Presente y Futuro de la Biotecnología*. Cabe mencionar que antes de dar inicio a la lectura del

documento, realiza varias preguntas abiertas con las cuales indaga conocimientos previos de los estudiantes relacionados con la Historia de la Biotecnología y el concepto de historia.

A continuación, indica las instrucciones a seguir durante la construcción de la línea del tiempo, señalando que la pueden hacer de diferentes maneras, empleando recursos como el dibujo y la caricatura y que cada “momento” debe contener la fecha, el hecho, la explicación de la importancia del hecho, así como información gráfica relacionada, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

“P.1: Cuando tengan esos hechos identificados lo que van a hacer es a construir una línea del tiempo, pero se supone que si es línea es recta, esa es la idea que nos han vendido, yo les voy a dar la posibilidad de que esa línea la hagan de diferentes maneras, una puede ser a través de este tipo de gráficas, un cuadro (Muestra una imagen), pero a este cuadro le hace falta algo, debe tener la gráfica correspondiente, entonces, si yo estoy hablando de fermentación, y que fueron los babilónicos los primeros que hicieron la cerveza, pues entonces voy a ir a dibujar una cerveza, a colocar la fecha y a colocar el proceso que hicieron, que fue de fermentación. Bien, la otra observación, pónganme atención, podemos hacer una línea a través de caricaturas, pero esa caricatura debe estar y ustedes lo saben con el cuadro de diálogo y el dibujo relacionado, ¿está claro? al hecho del que estoy hablando, si estoy hablando de domesticación de animales pues entonces voy a dibujar, voy a escribir la fecha más o menos, no tenemos fechas exactas, pero más o menos aproximado y la fecha en que empezó y cuáles fueron las consecuencias de eso a través del dibujo...” (Clase P1.C1).

Enseguida, acude a la lectura en voz alta del texto de divulgación científica, la lectura es dirigida ya que es interpelada con preguntas, entre las que encontramos preguntas abiertas y cerradas (Blosser, 2000).

De acuerdo con Blosser (2000), existen cuatro principales tipos de preguntas realizadas por los profesores, las cuales definimos a continuación:

- Gerenciales: Sirven para mantener las operaciones en el aula, para movilizar las actividades (y a los estudiantes) hacia acciones deseadas. Son preguntas del tipo ¿Todos tienen los materiales necesarios?
- Retóricas: Sirven para enfatizar un punto, para reforzar una idea o declaración. Son preguntas del tipo: Ayer dijimos que existen tres grupos principales de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas, ¿sí o no?
- Cerradas: Sirven para verificar la retención de información previamente informada, para centrar el pensamiento en un punto particular o en un conjunto común de ideas. Son preguntas para las

cuales existe un limitado número de “respuestas correctas”. Por ejemplo: ¿De qué está hecha la pared celular de las células vegetales?

- Abiertas: Buscan que los estudiantes den y justifiquen sus opiniones, infieran o identifiquen implicaciones, formulen hipótesis, y hagan juicios basados en sus propios valores y estándares. Anticipan un amplio rango de respuestas posibles. Son preguntas del tipo: ¿Cómo supones que sería la vida en la Tierra con menos gravedad? o ¿si tú sospechas que tienes alguna anomalía genética, tendrías hijos? Justifica tu respuesta.

De esta manera, a través de las preguntas abiertas y cerradas Alejandra facilita la participación y la interacción de los estudiantes en el grupo, posibilitando al mismo tiempo la identificación de algunos hechos que han permitido el desarrollo de la Biotecnología.

Alejandra solicita luego a los estudiantes que sigan realizando la actividad de identificación de hechos, pero en grupos más pequeños (grupos de 4 estudiantes), consistente en continuar con la lectura del texto de divulgación científica y hacer una lista de los hechos históricos que han facilitado el desarrollo de la Biotecnología, reiterando además que la actividad debe ser resuelta en grupo para que puedan llegar a consensos.

Una vez los estudiantes desarrollan la actividad propuesta Alejandra solicita a los estudiantes que construyan en el tablero una lista de hechos que han sido parte del desarrollo histórico de la Biotecnología. Con lo anterior fomenta el trabajo colectivo, en la medida en que posibilita que todos los estudiantes del curso interactúen y lleguen a consensos.

Finalmente, Alejandra indica las instrucciones acerca de la elaboración y presentación de la línea del tiempo que cada grupo de trabajo debe elaborar como tarea durante el receso escolar de Semana Santa, señalando que en la próxima clase cada grupo debe exponer la línea del tiempo a los demás compañeros.

De esta manera, durante la segunda clase Alejandra enuncia que la primera parte de la clase estará dedicada a las Exposiciones de las Líneas del Tiempo y que en la segunda parte van a organizar una línea del tiempo de la Biotecnología que será realizada en una tira de papel Kraft, apoyados en unos documentos de divulgación para “completarla”, insistiendo en ponerle imágenes: fotografías y dibujos.

En este orden de ideas, durante la clase los grupos de estudiantes desarrollan las exposiciones y Alejandra hace preguntas abiertas y cerradas acerca de los contenidos que están exponiendo. Cabe señalar que las exposiciones se tornan repetitivas, en la medida que los diferentes grupos de estudiantes mencionan los mismos hechos, sin que haya retroalimentación por parte de Alejandra respecto a lo tópico específico.

Una vez finalizan las exposiciones Alejandra manifiesta:

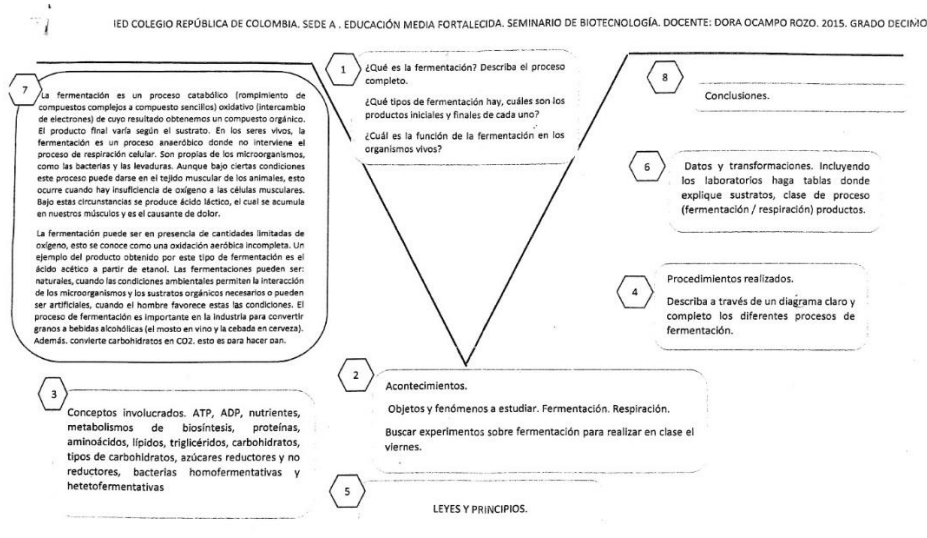
*“P.1: Esta es la primera parte del trabajo, la segunda es que vamos a empezar a construir nosotros mismos nuestra línea del tiempo, así que no vamos a terminar hoy, ¿cómo la vamos a construir?, la vamos a empezar a construir desde la época del neolítico, vamos a empezar a construir esa línea del tiempo, profundizamos en el tema, luego pasamos al siguiente, y el material que vamos a tener aquí lo guardamos, de forma tal que al final de semestre esa línea del tiempo y esos temas que tenemos en la línea del tiempo estemos en capacidad todos, de pararnos aquí enfrente y de explicar de qué se trata...” (Clase P1.C2).*

En ese orden de ideas, la estrategia que Alejandra propone es la construcción de una línea del tiempo colectiva, a través de la cual desarrollar algunos de los contenidos asociados a la Historia de la Biotecnología, en este sentido entrega a los estudiantes un documento acerca de la domesticación de plantas y animales, papel kraft y marcadores, indicándoles que realicen la lectura y que comiencen el desarrollo de la actividad, bajo el liderazgo de dos estudiantes.

Finalmente propone la tarea, que consiste en consultar sobre fermentación: “[...] entonces escriban por favor, van a averiguar todo lo que ustedes encuentren, eso lo dejo a libertad de ustedes mismos, sobre la fermentación” (Clase P1.C2).

- **V Heurística sobre fermentación**

La estrategia de las clases 3, 4 y 5 es el desarrollo de una V Heurística, con la que aborda contenidos de enseñanza relacionados con la fermentación (ver figura 11).



**Figura 11.** V Heurística empleada por la profesora Alejandra en las clases P1.C3, P1.C4 y P1.C5.

Fuente: Profesora Alejandra.

De esta manera, al comienzo de la clase 3, Alejandra describe y explica cómo deben resolver las actividades de la V Heurística. A continuación, da inicio a la lectura de la información contenida en el punto 7 de la V heurística, la cual hace referencia a la definición de fermentación, en este sentido, solicita a uno de los estudiantes que lea en voz alta dicha información, y luego pregunta por las palabras que pueden subrayar, a lo que los estudiantes dan diferentes respuestas, indicando diferentes términos, que son avalados por la profesora, sin mayor explicación. Así la actividad, se constituye en una lectura en voz alta dirigida, dado que la profesora interpela a través de preguntas abiertas y cerradas y da indicaciones acerca de qué hacer con la información de tal lectura.

Más adelante, Alejandra solicita a los estudiantes que lean mentalmente el primer párrafo del texto que aparece en el punto 7, que le indiquen qué pueden resaltar en el texto (subrayar) sobre la fermentación, y que luego le cuenten qué entendieron.

A continuación, Alejandra plantea que en grupos de 4 estudiantes deben leer el texto que anexa la V heurística, titulado "*Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*" y, para cada párrafo, sacar las palabras importantes y las ideas importantes que estén relacionadas con el proceso de la fermentación. Adicionalmente manifiesta que tienen tres preguntas que deben ir resolviendo: - ¿qué es la fermentación? Describa el proceso completo, - ¿qué tipos de fermentación hay?, ¿cuáles son los productos iniciales y finales?, y - ¿cuál es la función de la fermentación en cada uno de los organismos vivos? (ver punto 1 de la V heurística en la figura 11), y también les solicita que busquen en el diccionario las palabras desconocidas, refiriéndose de manera particular a la palabra mucílago.

La siguiente actividad que Alejandra propone consiste en pasar al tablero y escribir, de acuerdo con la información leída en los textos (tanto de la V heurística, como del artículo fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café) qué es la fermentación. Durante el desarrollo de la actividad Alejandra reitera que la intención es que los estudiantes empleen sus palabras, en vez de copiar cosas al pie de la letra.

De esta manera, y finalmente, los estudiantes van pasando uno a uno al tablero y van escribiendo aspectos relacionados con la fermentación, y que ellos consideran hacen parte de su definición. Con lo que en el tablero va apareciendo una lista de definiciones de fermentación construida por todos los estudiantes del curso.

La profesora da inicio a la quinta clase enunciando que van a resolver la primera pregunta de la V heurística, para ello plantea como actividad la construcción de un mapa conceptual sobre la fermentación.

En este sentido, acude a la lectura dirigida en voz alta de un aparte del documento de divulgación científica titulado "*Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*", de forma

tal que a partir de la lectura va construyendo en el tablero el mapa conceptual. Los estudiantes participan en la construcción del mapa conceptual a través de las respuestas a las preguntas que la profesora hace, que en su mayoría son cerradas y están relacionadas con los contenidos de enseñanza (originados en el aparte del documento leído).

Para explicar el concepto de metabolismo, en particular en cuanto a los procesos metabólicos de anabolismo y catabolismo, acude a un ejemplo relacionado con la digestión de las proteínas de la carne, señalando que durante la digestión las proteínas de la carne se rompen en sus ladrillos más pequeños, que son los aminoácidos, los cuales vuelven a formar proteínas dentro de las células. Lo anterior deja ver un esfuerzo didáctico de la profesora, orientado a la comprensión de ciertos conceptos asociados al de fermentación.

De esta manera es importante precisar, que, para desarrollar el mapa conceptual, la profesora acude a diversas actividades como la lectura en voz alta dirigida, preguntas (cerradas y abiertas) y la explicación de términos como procesos metabólicos, procesos anaeróbicos y procesos aeróbicos.

Durante la quinta clase Alejandra propone como actividad que los estudiantes, trabajando en grupo, preparen la presentación a los demás compañeros de la respuesta a la pregunta de la V heurística *¿qué tipos de fermentación hay y cuáles son los productos iniciales y finales de cada una de ellas?*

En aras de que los estudiantes realicen las actividades propuestas, la profesora les da las indicaciones: leer el apartado *tipos de fermentación* del documento titulado *“Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café”* y preparar la presentación a los demás compañeros, la cual será realizada a modo de plenaria. La profesora acude a preguntas retóricas y gerenciales para aclarar las instrucciones dadas, atendiendo a los cuestionamientos de los estudiantes, reitera las instrucciones, para lo cual hace un mayor esfuerzo didáctico buscando que los chicos entiendan las indicaciones a seguir:

“P.1: Si a mí me pusieran a explicar, entonces yo, yo lo haría en un cuadrado, tipos de fermentación, productos iniciales, y productos finales ¿sí? Escribo uno, tipos de fermentación, voy a poner un ejemplo, fermentación ehhh, a ver, démosle un nombre, fermentación X, productos iniciales, el agua, el carbono, el azúcar, la proteína, productos finales, etanol, ácido láctico, supongamos, siguiente, ehhh, tipo de fermentación, fermentación Y, y hago exactamente lo mismo, yo lo haría en un cuadrado, yo, cada uno de ustedes lo puede hacer en un diagrama, con círculos, con rayas, con cuadros, no sé cómo y me explican eso, ¿está claro?” (Clase P1.C5).

Durante el desarrollo de las actividades propuestas, la profesora reitera que deben leer en grupo, explicitando que el trabajo es en equipo. Cabe señalar que en el transcurso de la clase los estudiantes acatan activamente las indicaciones de la profesora, trabajan en grupos, leen la

información señalada y emplean distintos materiales para preparar su presentación. Al final de la clase entregan los trabajos a la profesora y salen del salón.

- ***Práctica de laboratorio sobre clases de fermentación***

La estrategia de las clases 6 y 7 es el desarrollo de una práctica de laboratorio sobre clases de fermentación (láctica, acética y alcohólica). Durante la clase anterior la profesora ha entregado a cada estudiante una guía de laboratorio (que les pide que lean antes de empezar la práctica), y les ha solicitado que traigan materiales como leche, yogurt, frutas, levadura, lactobacilos, toalla y tapabocas.

Cabe resaltar la importancia que Alejandra da a los protocolos de bioseguridad, por lo que insiste en el uso de la bata de laboratorio y en la necesidad de que las niñas mantengan su cabello recogido durante el trabajo práctico.

Atendiendo a este reconocimiento, inicialmente solicita a los estudiantes que despejen los sitios de trabajo (las mesas) y manifiesta que antes de empezar deben realizar una jornada de higiene, por lo que primero deben limpiar la mesa con jabón y luego con alcohol. Manifiesta además que cuando la mesa esté completamente seca deben ubicar dos mecheros de alcohol prendidos en el centro para garantizar que lo que hagan sobre la mesa esté aséptico, sin abordar el significado del término, y sin hacer referencia a las acciones de los microorganismos, ni como agentes contaminantes, ni como responsables de los procesos fermentativos.

Posteriormente, Alejandra da las instrucciones acerca de los procedimientos a seguir durante la práctica de laboratorio, de esta manera reitera que cada grupo va a preparar dos muestras de yogurt, señalando que van a preparar las muestras en erlenmeyers y procede a desarrollar los procedimientos descritos en la guía. En este orden de ideas, cabe señalar que, durante la clase, la práctica de laboratorio se lleva a cabo siguiendo el protocolo descrito en la guía de laboratorio, a través de las instrucciones de la profesora, sin mayor revisión del marco teórico involucrado, o de los contenidos conceptuales involucrados.

La profesora pasa por los puestos de trabajo verificando el seguimiento de las instrucciones y adicionalmente que hayan marcado en la cinta de enmascarar que les dio los erlenmeyers con: grupo, nombre, número de la muestra y contenido. Las preguntas que Alejandra hace son todas del tipo gerencial y su función radica en verificar que los estudiantes sigan las instrucciones dadas con anterioridad.

Más adelante, Alejandra realiza un repaso para recordar la teoría vista en la clase del día anterior. El repaso consiste principalmente en hacer una serie de preguntas cerradas relacionadas con datos sobre la fermentación láctica. A medida que los estudiantes van respondiendo a las



preguntas, la profesora va construyendo un esquema en el tablero, en el que organiza los datos indagados, vale la pena señalar entonces, que, a través de esta actividad Alejandra realiza una fundamentación conceptual de la práctica de laboratorio, la cual se queda en el plano de la transmisión de información previamente comunicada, como podemos ver a continuación:

*“P.1: Bien, vamos a recordar parte de la teoría que hicimos ayer, escúchenme, por favor. Vamos a recordar parte de lo que hicimos ayer, y es ahh, mirar que habíamos propuesto, que hemos propuesto tres tipos de fermentación, a este tipo de fermentación que acabamos de colocar ahí, ¿cómo la llamamos?”*

*E.2: ehhh, láctica*

*P.1: ¿Cómo la llamamos?”*

*Estudiantes: láctica*

*P.1: Fermentación Láctica (escribe en el tablero Fermentación Láctica), muy bien, ¿Cuál es el sustrato?”*

*E.3: La leche*

*P.1: No, un azúcar disacárido ¿llamado qué?”*

*E.6: lactosa*

*P.1: ¿llamado qué?”*

*Estudiantes: la lactosa*

*P.1: Lactosa perfecto (Escribe sustrato: lactosa)” (Clase P1.C6).*

Acto seguido, Alejandra da a los estudiantes instrucciones del procedimiento a seguir durante la preparación de la tercera muestra de yogurt, señalando que van a comparar los resultados en función de la temperatura.

Finalmente, Alejandra da paso al procedimiento de la fermentación acética, para ello solicita a los estudiantes una guía y les pide que se reúnan alrededor de ella, acto seguido, hace preguntas cerradas respecto al nombre del producto de la fermentación.

Revisando el procedimiento planteado en la guía de laboratorio indica las instrucciones para la fermentación acética. Durante el transcurso del episodio la profesora realiza varias preguntas cerradas acerca de la fermentación acética, con las que busca la repetición de información previamente transmitida.

Finalmente, la profesora solicita a los estudiantes que organicen los materiales empleados, que marquen las muestras que acaban de preparar y las lleven a la estufa, y que salgan. Antes de retirarse del laboratorio, le solicita a una de las estudiantes que traiga maíz peto partido en trozos pequeños para continuar con la práctica de laboratorio durante la siguiente clase.

En la clase 7 continua la realización de la práctica de laboratorio sobre clases de fermentación. La primera actividad que realiza la profesora es dar las instrucciones para la observación de los resultados de los procedimientos sobre fermentación láctica realizados la clase anterior. Las instrucciones consisten en prender los mecheros, sacar las muestras de las estufas, observar las muestras, fotografiarlas y hacer anotaciones de lo que ven. La profesora reitera que la muestra 1 fue de yogurt y leche, y que la muestra 2 fue de bacilos y leche (vale la pena señalar que dichas muestras se encontraban a una temperatura de 37°C).

Luego de dar las indicaciones, los estudiantes, organizados en sus grupos de trabajo empiezan a hacer sus respectivas observaciones, la profesora pasa por los grupos, verificando que los estudiantes sigan las instrucciones previamente dadas. Al pasar por los grupos revisa y hace algunas apreciaciones acerca de lo que los estudiantes deben señalar respecto a las muestras, como en el caso de revisar si las muestras son homogéneas o heterogéneas.

*“P.1: Miren qué tan espesa está, si las dos tienen la misma, a la vista, tienen el mismo espesor*

*E.1: Ushhh, eso se ve reguacala*

*P.1: Oiga, reguacala no es una palabra para describir*

*E.4: No profe, eso quedó remaquia*

*P.1: ¿Quedó qué?, ¿remaquia?*

*P.1: Bien, revisen si esto es homogéneo, revisen si eso es homogéneo o heterogéneo, si el espesor de la muestra es igual o no”* (Clase P1.C7).

Luego, Alejandra solicita a los estudiantes que lean las descripciones de las muestras uno y dos que previamente han escrito en los cuadernos. Cada vez que un estudiante lee su descripción, Alejandra hace preguntas, encaminadas principalmente a la identificación de las fases del fermento observado y a la caracterización de esa mezcla como homogénea o heterogénea. Adicionalmente pregunta por el estado de la materia y el color de las fases presentes en la mezcla. Es importante señalar que los estudiantes participan activamente, siguiendo las instrucciones indicadas por la profesora.

Una vez los estudiantes guardan los erlenmeyers de la fermentación láctica, la profesora solicita que saquen el erlenmeyer en el que están haciendo la fermentación acética y pregunta por el tipo de fermentación que se está realizando en ese erlenmeyer y por el olor del fermento, el cual, indica es olor a alcohol. Acto seguido les solicita que describan la muestra y que lean en la guía el procedimiento a seguir en la parte de fermentación acética. Adicionalmente les solicita que le cuenten si hay burbujas de gas, si hay un leve olor a alcohol, si se está fermentando y que saquen la fotografía y anoten la fecha. Sin embargo, no hubo discusión acerca de la relación entre las burbujas con los productos de la fermentación, ni entre el olor a alcohol y la producción de

etanol, con lo que los estudiantes no establecieron descripciones acordes con el proceso fermentativo que estaban realizando.

Cabe señalar, además, que mientras Alejandra pasa por los grupos pregunta qué habían aplicado para que inicialmente se diera la fermentación alcohólica, a lo que los estudiantes contestan que levaduras, y luego pregunta por el tipo de levaduras. Con lo que aborda algunos contenidos relacionados con la fermentación, lo que no sucede en el episodio anterior, sin embargo, durante la observación y descripción de los resultados no realiza preguntas relacionadas con el proceso de la fermentación propiamente dicho, que conlleven a la obtención de conclusiones por parte de los estudiantes.

Vale la pena señalar que durante la práctica de laboratorio Alejandra interactúa dialógicamente con los estudiantes y que ellos siempre muestran una respuesta activa en el sentido de seguir el protocolo y las indicaciones que ella da. De esta manera los estudiantes trabajan en grupo, toman las fotos y realizan las descripciones solicitadas en los cuadernos. Con lo anterior resaltamos el ambiente de aula generado por la profesora, el cual posibilita una realización adecuada de las actividades propuestas, así como la participación, motivación y compromiso de los estudiantes respecto al desarrollo de las mismas. De acuerdo con lo anterior, el hecho que la profesora solicite a los estudiantes que se sienten alrededor de ella, es muestra de la generación de espacios de comunicación asertiva en el aula de clase, con los que busca aproximar y compartir con los estudiantes el seguimiento del protocolo de la práctica de laboratorio.

Como parte de la estrategia de la práctica de laboratorio sobre clases de fermentación, Alejandra enuncia que va a crear un grupo en el Facebook para desarrollar sesiones de discusión de los resultados del laboratorio. Indica que la primera jornada de discusión la realizarán esa noche, por lo que solicita a los estudiantes que se conecten a las 8 de la noche y que todos participen. Manifiesta que las preguntas de participación estarán relacionadas con lo que han trabajado en la parte experimental y que deben llevar la descripción de cada una de las muestras para tener así un fundamento en las discusiones.

Con lo que dentro de sus estrategias de enseñanza Alejandra incluye su conocimiento sobre las herramientas TIC, tal y como ampliaremos más adelante en el apartado sobre uso de herramientas TIC.

- ***Infografías sobre la clasificación de la Biotecnología por colores***

Durante la décima clase Alejandra acude a la estrategia de las infografías para abordar la clasificación de la Biotecnología por colores, de manera que, durante la clase los estudiantes exponen a sus compañeros las infografías que realizaron como tarea.

Durante la clase se genera una actividad en la que Alejandra solicita a los estudiantes que pasen a exponer su infografía, todos escuchan y luego Alejandra solicita a alguno de los estudiantes que indique la calificación (nota) de su compañero y el porqué de esa nota.

Cabe señalar que Alejandra no realiza mayores intervenciones durante las exposiciones, y adicionalmente valida y apoya las evaluaciones realizadas por los estudiantes seleccionados por ella como evaluadores.

Al finalizar la presentación de una estudiante que expone con mucha timidez, Alejandra hace varios comentarios, entre ellos manifiesta que en el trabajo de la niña hay demasiada información, aunque señala que está muy bonito y que lo debe guardar para la semana entrante enseñarles a los niños de un curso de primaria qué significa eso de la Biotecnología, y en qué está dividida y por qué está dividida por colores. En este orden de ideas, le solicita a la estudiante que se prepare, que organice el trabajo, que le coloque lo que le haga falta, que estudie y que se pare frente al espejo para hacer de cuenta que está hablando con esos niños. Adicionalmente le indica que tiene que hablar mucho más duro.

Ante la propuesta de la profesora algunos estudiantes manifiestan que ellos también quieren ir a realizar sus exposiciones a otros cursos, por lo que la profesora indica que les va a dar tiempo para que hagan eso y lo hagan en cursos diferentes. Dicha actividad queda en el plano enunciativo y no es desarrollada.

- **Uso de herramientas TIC**

Durante su práctica docente Alejandra, hace uso frecuente de herramientas TIC, tales como, grupos de Facebook, videos de Youtube, diapositivas y páginas web, por lo que a continuación, describiremos brevemente las estrategias en las que Alejandra hizo uso de estas herramientas dentro de sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

- **Grupo Facebook:** Como ya mencionamos, al finalizar la séptima clase, Alejandra enuncia a los estudiantes que va a crear un grupo en Facebook, para que al conectarse a las 8:00 p.m de ese día, realicen la discusión acerca de los resultados de la práctica de laboratorio sobre clases de fermentación. Durante la octava clase, Alejandra llama la atención a los estudiantes, pues solo algunos se unieron a dicho grupo. Manifiesta también que la participación en el foro sigue aún abierta, y que espera que la participación no consista solo en responder una pregunta tajantemente, sino en revisar las participaciones de sus compañeros y con respeto opinar sobre lo que ellos escribieron.

De igual manera, en el transcurso de la clase enuncia que va a colocar en el grupo de Facebook el link de la página sobre fermentación que están trabajando, así como el video de la clasificación

de la Biotecnología por colores. Enuncia también que ya estuvo revisando páginas relacionadas con membrana celular, metabolismo y fotosíntesis, y que las va a publicar en tal grupo, por lo que no van a necesitar más información que la que tienen ahí para resumir y cerrar lo que han hablado de fermentación. Señala también que va a subir unas preguntas acerca de la generalidad de la clasificación de la Biotecnología y el correo de ella para que le envíen las respuestas.

Durante la décima clase Alejandra indica a los estudiantes que subió al grupo de Facebook un documento que habla de biocombustibles, el cual es de un colectivo argentino llamado Argenbio, les solicita que lean tal documento y que el sábado por la noche participen en la discusión en el grupo.

Lo anterior da cuenta de su conocimiento de algunas herramientas del Facebook, que intenta incorporar a la enseñanza de la Biotecnología.

- **Páginas web y videos de Youtube:** Durante la octava clase Alejandra proyecta a los estudiantes un blog sobre fermentación. Dicho blog pertenece al espacio virtual *portal académico* de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El portal es un espacio virtual del Colegio de Ciencias y Humanidades de la universidad, que tiene como propósito fortalecer, a través de la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), el proceso de enseñanza y aprendizaje, tanto de alumnos como de profesores del nivel medio superior. Los recursos del portal son de libre acceso, y se encuentran en la siguiente dirección: <https://portalacademico.cch.unam.mx/tuportal>

Durante la clase se realiza lectura en voz alta de la información de la página web proyectada. Algunos estudiantes leen a solicitud de la profesora. Adicionalmente, Alejandra hace uso de la información del link acerca de la fermentación láctica. En este caso, y dado que la página web presenta un esquema en el que se aprecia una reacción química global sobre la glucólisis y su relación con la reacción química global de la fermentación láctica, Alejandra realiza una explicación de este esquema a los estudiantes. Una vez hace la explicación correspondiente, solicita a los estudiantes que escriban en el cuaderno la información que les está proyectando, y que luego escriban la definición y los diagramas correspondientes a la fermentación láctica y a la fermentación alcohólica. Al notar que los estudiantes tardan mucho en copiar la información, les solicita que tomen fotos a la información de la página web.

Mientras los estudiantes escriben enuncia también que esa información les va a servir para contestar unas preguntas, lo que constituye una actividad evaluativa, que Alejandra realiza a partir de la información de la página web a la que ha acudido.

Una vez se desarrolla la evaluación propuesta, Alejandra proyecta a los estudiantes un video de Youtube realizado por ella acerca de la clasificación de la Biotecnología por colores. Alejandra solicita a los estudiantes miren el video y tomen apuntes.

Durante la décima clase Alejandra acude a otro video de Youtube, esta vez sobre biocombustibles. Es un video producido por el canal encuentro [www.encuentro.gov.ar](http://www.encuentro.gov.ar), del Ministerio de Educación de Argentina.

Como parte de la estrategia, Alejandra solicita a los estudiantes que observen el video, señalando que, aunque es sobre los biocombustibles en Argentina, tiene cosas que también son aplicables a Colombia, por lo que van a tener que buscar sobre la legislación en cuestión de biocombustibles en el país. Solicita luego a los estudiantes que revisen el video, el cual está en el grupo del Facebook, mencionando que, ya que están hablando de la utilización del alcohol y de la nafta o gasolina en Argentina, el trabajo que van a hacer es trasladar ese mismo video, pero con cifras colombianas. Por lo que deben buscar la legislación, la producción de bioetanol en Colombia, la producción de azúcar y los departamentos en los que se está cultivando caña de azúcar. Cabe señalar que la actividad queda enunciada y que no es revisada por la profesora.

- **Diapositivas de Power Point:** Alejandra también hace uso de diapositivas de Power Point, con las cuales aborda la conceptualización acerca de los biocombustibles. Cabe resaltar que las diapositivas fueron elaboradas por la profesora, lo cual denota el uso de las TIC como parte de las estrategias empleadas en el desarrollo de sus clases.

Son 10 diapositivas sobre el desarrollo sostenible, las definiciones de biocombustibles, la clasificación de los biocombustibles, las clases de biocombustibles obtenidos de acuerdo a la forma de biomasa utilizada en su producción, las clases de biocombustibles (biomasa, etanol, biodiesel) y la Biotecnología blanca.

Durante la presentación Alejandra introduce los contenidos de enseñanza relacionados a cada dispositiva, y al mismo tiempo realiza preguntas cerradas, retóricas y abiertas a los estudiantes. Adicionalmente, es importante señalar que Alejandra no se limita a leer las diapositivas, sino que para cada una presenta su interpretación, ejemplos y ejercicios de comparación y contextualización que le permiten ampliar los contenidos de enseñanza.

- **Uso de textos de divulgación científica**

Alejandra frecuentemente recurre al uso de textos de divulgación científica, entre ellos, artículos de publicaciones de divulgación y apartados de textos académicos, obtenidos principalmente a través de buscadores de internet.

En este orden de ideas, cabe señalar que Alejandra trajo a las clases los siguientes documentos:

- *Presente y Futuro de la Biotecnología*, publicación del libro español Horizontes culturales: las fronteras de la ciencia, del año 1999, descargada de: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00323.pdf>

- *Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café*, publicación del año 2010, de la revista colombiana Cenicafé, de la Federación Nacional de Cafeteros, descargada de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/345/1/avt0402.pdf>

- *Los biocombustibles*, publicación del Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología, Argenbio, descargada de la página web: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biocombustibles.pdf>

- *Las moléculas: La base de la vida*. Publicación de la página web: [http://www.educa.madrid.org/web/ies.alonsoquijano.alcala/carpeta7/sin-titulo/moleculas de la vida.pdf](http://www.educa.madrid.org/web/ies.alonsoquijano.alcala/carpeta7/sin-titulo/moleculas%20de%20la%20vida.pdf)

- *Las moléculas de la vida. Impactos y problemas. El temor a freír*. Apartado de un libro de Biología, descargado de la página web: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2011/biolo/3.pdf>

- *Biorremediación Fundamentos y aspectos microbiológicos*. Publicación de la Universidad de Oviedo, descargada de la página web: [https://www.researchgate.net/publication/285873229 Biorremediacion Fundamentos y aspectos microbiologicos](https://www.researchgate.net/publication/285873229_Biorremediacion_Fundamentos_y_aspectos_microbiologicos)

- *Fracking.no.ez.non*, publicación del colectivo ecologistas en acción, descargada de la página web: <https://www.ecologistasenaccion.org/24616/territorio-libre-de-fracking/>

Los cuales, en la mayoría de los casos, aborda a través de la lectura en voz alta dirigida o lectura mental y también a través del subrayado de ideas o palabras clave.

En el caso de la novena clase, la lectura del documento *Las moléculas de la vida. Impactos y problemas. El temor a freír* no constituye una actividad, sino una estrategia de enseñanza, en la medida que a partir de esa lectura los estudiantes deben dar respuesta a tres actividades:

- Analiza el título. ¿Se puede decir que las moléculas son la base de la vida? ¿Qué otras moléculas además de las orgánicas constituyen los seres vivos?
- Reflexiona sobre algunas ideas. ¿Cuál es la principal característica de las moléculas orgánicas de los seres vivos? ¿Se podría decir que los seres vivos son compuestos de carbono?
- Expón tus opiniones en clase. Cuando se investiga la existencia de vida en otro planeta, ¿qué tipo de moléculas crees que buscan los científicos?

Cabe señalar que como actividad Alejandra orienta la lectura dirigida en voz alta, interpelando con preguntas. Luego, solicita a los estudiantes que lean las respuestas a las preguntas bajo el enunciado analiza el título.

Pasados unos minutos Alejandra señala que escuchó a dos estudiantes haciendo una reflexión que le pareció interesante acerca de la primera pregunta, por lo que le solicita a uno de ellos que les cuente lo que respondieron. El estudiante lee su respuesta y luego la profesora les pregunta a los estudiantes de otro grupo por la reflexión que hicieron, a lo que una de las estudiantes señala:

“E.10: *“Yo pienso que las moléculas no son la base de la vida porque pues ellas están compuestas de átomos, y esos son los que deberían ser la base de la vida”* (Clase P1.C9).

La profesora pregunta a los estudiantes que leyeron primero por su opinión al respecto, con lo que se da inicio a un debate en torno a si son las moléculas o los átomos los que pueden considerarse la base de la vida. Vale la pena señalar que Alejandra, actuando como moderadora del debate, hace distintas preguntas que orientan la discusión. Adicionalmente, la profesora facilita la participación de otros estudiantes en el debate originado al solicitarles que manifiesten su opinión frente a lo que sus compañeros están diciendo.

Una vez otra estudiante interviene, Alejandra realiza las siguientes preguntas:

“P.1: *¿Qué otras moléculas además de las orgánicas pueden llegar a constituir a un ser vivo?, ¿no hay moléculas inorgánicas, todas son orgánicas?”* (Clase P1.C9).

Con lo cual, la discusión gira en torno a si hay moléculas inorgánicas formando a los seres vivos, y cuáles son dichas moléculas. Adicionalmente Alejandra orienta la discusión a través de preguntas a la relación entre las bacterias y las moléculas.

El panorama anterior respecto a las estrategias de enseñanza nos permite señalar finalmente, que Alejandra tiene un amplio conocimiento sobre las estrategias, tanto a nivel general, como a nivel de enseñanza de la Biotecnología, que se ve reflejado en la variedad de estrategias y actividades que propone a los estudiantes, así como en la alta frecuencia de las relaciones entre Estrategias y Contenidos de enseñanza a lo largo de las clases observadas.

En términos de la complejidad cabe señalar que, solamente en la sexta clase (ver figura 7), la complejidad de la relación Estrategias a Contenidos tiene un valor de complejidad inicial, lo anterior debido principalmente a que la estrategia de la práctica de laboratorio radica en el seguimiento de las instrucciones de la guía elaborada previamente por Alejandra, con lo cual, como ya hemos mencionado, los contenidos procedimentales son presentados de manera transmisiva y radican en la manipulación de equipos e instrumentos y en la obtención de productos sin hacer énfasis en la conceptualización de tales procedimientos.

En las clases 2, 3, 4, 5, 7, 8 y 9 la complejidad de la relación E a C es intermedia (ver figura 7), ya que las diferentes estrategias que Alejandra plantea, entre ellas las exposiciones de la Línea del



tiempo de la Historia de la Biotecnología, la V heurística y las infografías sobre la clasificación de la Biotecnología por colores son guiadas por ella y conllevan la participación activa de los estudiantes, adicionalmente, observamos que las estrategias, están orientadas a la conceptualización de las temáticas desarrolladas, sin embargo, a través de ellas no se busca problematizar los contenidos de enseñanza ni el establecimiento de relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad implícitas en la Biotecnología, que conlleven a la toma de decisiones argumentadas.

A diferencia de los anterior, en los mapas de las clases 1, 10, 11 y 12 (Figura 7) observamos que las relaciones de Estrategias a Contenidos tienen complejidad de referencia, lo que nos lleva a destacar la perspectiva sociocrítica desde la que Alejandra empleó las estrategias en estas clases, en la idea no solo de posibilitar la participación de los estudiantes, sino también su apropiación de contenidos relacionados con la Naturaleza de la Biotecnología, y de visualizar las implicaciones sociales de los procesos y productos biotecnológicos, entre ellos los biocombustibles y la biorremediación.

Así, aunque en el mapa consolidado del CDC en acción de Alejandra, observamos que la relación Estrategias a contenidos, que es la más frecuente de todas las relaciones, tiene una complejidad promedio con un valor intermedio, podemos decir que dicho valor se debe a que hubo clases en las que este tipo de relación tuvo complejidad inicial, clases en las que la complejidad fue intermedia, y clases en las que la complejidad fue de referencia.

#### **4.1.2.2.1.3.3 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza**

El análisis de la figura 10 nos deja ver, que, en su CDC en acción, un 17,0% del total de las relaciones son establecidas por el componente Propósitos de enseñanza, lo cual conlleva a que éste componente desempeñe un papel importante en la integración de los componentes del CDC en acción de Alejandra. A continuación, describiremos nuestros hallazgos respecto a este componente.

Durante la primera clase encontramos diferentes propósitos de enseñanza, entre ellos que los estudiantes trabajen en grupo, cumpliendo cada uno con un rol específico, asumiendo al mismo tiempo ciertas responsabilidades de acuerdo al rol desempeñado.

En cuanto a este propósito de enseñanza es importante mencionar que en el syllabus del seminario *Introducción a la Biotecnología* (y en otros syllabus también) se manifiesta como parte de los objetivos, que los estudiantes alcancen el desarrollo de competencias específicas del área de Ciencias Naturales, entre ellas indagar, identificar, explicar, comunicar, trabajar en equipo y reconocer la dimensión social del conocimiento. Con lo que podemos señalar que el propósito

de Alejandra de lograr que los estudiantes trabajen en grupo concuerda con los objetivos planteados en el proyecto que enmarca el énfasis en Biotecnología de la institución, por lo que además es reiterado en varias de las clases observadas.

De otra parte, podemos notar también que Alejandra plantea como propósito de enseñanza profundizar en la Historia de la Biotecnología. De esta manera, durante la clase, la profesora propone de manera explícita a los estudiantes la identificación de hechos que facilitaron el desarrollo de la Biotecnología y la construcción de una línea del tiempo acerca de esos hechos, con lo cual busca el aprendizaje de aspectos históricos y epistemológicos de la Biotecnología al pretender que los estudiantes identifiquen y ubiquen en el tiempo hechos que han sido parte de la historia de la Biotecnología y que han facilitado su desarrollo, tal y como podemos notar en el siguiente fragmento, en el que dicta los objetivos de la clase a los estudiantes:

*P.1: “Bien, la primera parte del objetivo es: Identificar, o sea, todo lo que vamos a hacer de aquí en adelante es sobre mmm, nos vamos a basar en ese objetivo para desarrollarlo. Identificar los principales hechos que facilitaron el desarrollo histórico de la Biotecnología. Eso debe estar en su portafolio no. Oído, identificar los principales hechos que facilitaron el desarrollo histórico de la Biotecnología. Y el segundo objetivo: construir una línea del tiempo ubicando los hechos fundamentales que permitieron el desarrollo histórico de la biotecnología. Entonces, ojo, primero vamos a identificar cuáles fueron esos hechos y luego los vamos a ubicar en el tiempo” (Clase P1.C1).*

En este momento es importante señalar que la profesora insiste en lo que significa un objetivo, así como en el rol del objetivo en la clase, lo anterior sucede también en otras clases, como en las clases 9 y 12, en las que, durante el inicio de la clase, presenta no solamente los temas que va a desarrollar, sino también los objetivos que busca alcanzar, por lo que, podemos decir, que presentar los objetivos a los estudiantes no es algo rutinario dentro de la práctica didáctica de la profesora, sino que constituye una acción recurrente en sus dinámicas de aula, que involucra relaciones con los componentes Contenidos de enseñanza y Estrategias de enseñanza, en las que el componente Propósitos de enseñanza es el componente de origen.

Durante el transcurso de la primera clase, Alejandra también señala que una finalidad puntual de las actividades a desarrollar radica en que los estudiantes trabajen en grupo en la identificación de los hechos de la historia de la Biotecnología, la cual deben realizar a partir de la lectura de tres documentos que les ha entregado con anticipación, con lo que busca además fomentar en los estudiantes la comprensión de lectura de textos de divulgación científica, propósito que también plantea en las clases 3, 4, 5, 8, 9, 11 y 12.

De otra parte, cabe señalar que durante la segunda clase Alejandra plantea como propósito dar a conocer el trabajo del grupo al que le está enseñando, y que hacen parte del énfasis en

Biotecnología acerca de la Historia de la Biotecnología a los demás décimos, que pertenecen a los otros énfasis, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

*P.1: “[...] y la segunda parte es un trabajo de todos, a qué me refiero con que sea un trabajo de todos, vamos a aquí con papel kraft que hay ahí atrás, a sacar una tira de papel kraft, y en esa tira de papel kraft, vamos a organizar en grupo la línea del tiempo de la Biotecnología (coge unas copias del escritorio) para darla a conocer, para darla a conocer a los demás, a quiénes, o quiénes son los demás, la vamos a colocar en el pasillo, para que los otros décimos también estén enterados de qué es lo que nosotros estamos haciendo y de qué es lo que estamos aprendiendo” (Clase P1.C2).*

Propósito que no logra llevar a cabo, dado que el día que tiene pensado terminar la elaboración del trabajo coincide con la entrega de calificaciones a los padres de familia.

Reiteramos entonces que en la mayoría de los casos Alejandra hace referencia explícita a los propósitos de enseñanza, los cuales están relacionados con los contenidos de enseñanza y con las estrategias de enseñanza. Es así como, durante la tercera clase presenta como propósito de enseñanza la comprensión de la definición de fermentación, a través de las actividades de la V heurística cuando señala:

*“P.1: Entonces, vuelvo a explicar el trabajo para el día de hoy, escuchen, como trabajo final, tenemos que darle eh, respuesta a estas preguntas, por favor, a estas preguntas, está claro, ¿cuáles son las preguntas?, la primera es ¿qué es la fermentación? Describa el proceso completo. Ustedes no pueden ya decir ni hablar del proceso si no hablan de reacciones químicas, ojo, aquí va el proceso completo, incluyendo reacciones químicas, ¿Qué tipos de fermentación hay? y ¿cuáles son los productos iniciales y finales, de cada uno, de cada uno de los tipos de fermentación? Y ¿Cuál es la función de la fermentación en los organismos vivos? Son las tres preguntas que después de todo ese proceso, ustedes deben resolver, ¿está claro?” (Clase P1.C3).*

En ese sentido, también cabe señalar como ejemplo, lo que plantea en la séptima clase, cuando enuncia como propósito que los estudiantes aprendan a elaborar informes de laboratorio, lo cual genera una estrategia que propone desarrollar de forma interdisciplinar con la profesora que orienta el seminario de base común llamado *Construcción de Significados*:

*“P.1: Oigan bien, de acuerdo con la discusión pedagógica y de conocimiento y cognitiva que vamos a hacer en estos días, vamos a sacar aquí algunos apartes y si alcanzamos, empezamos a organizar la presentación del informe, está claro, porque vamos a hacer un informe, pero para eso, ustedes todavía no saben cómo lo van a hacer. Ehhh, ¿Quién les dicta a ustedes eh construcción de significados?”*

*[...] P.1: ¿Daissy? Daissy les dicta construcción de significados. ¿Cuándo tienen clase con Daissy? Estudiantes: El miércoles*

P.1: El miércoles, listo, yo hablo con Daissy hoy, para que el miércoles ustedes se puedan sentar y mirar dos cosas: ¿Qué es un informe científico?, ¿para qué se presenta un informe científico?, y yo con Daissy organizo cuáles son los pasos principales de ese informe científico que ustedes van a presentar, ¿está claro? El jueves aquí revisamos rápidamente eso, si lo tenemos que hacer a través de internet, entonces lo hacemos, miramos cómo se presenta el informe, me van enviando sus avances, me van mostrando que van haciendo, y vamos haciendo correcciones” (Clase P1.C7).

De manera general cabe señalar que de las relaciones que estableció el componente Propósitos de enseñanza, la más frecuente fue con el componente Contenidos de enseñanza (ver figura 8), en este caso, encontramos que en la mayoría de las clases (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11) la complejidad de esta relación fue intermedia (ver figura 7), debido fundamentalmente a que los propósitos planteados persiguen el desarrollo de habilidades para el trabajo en grupo, la comprensión de lectura y el seguimiento de protocolos. Adicionalmente, en la mayoría de los casos, los propósitos también están articulados con la comprensión de conceptos de la Bioquímica y la Biología asociados a la Biotecnología.

En el caso de las clases 1, 2 y 12, la relación Propósitos a Contenidos de enseñanza presenta complejidad de referencia, debido a que la profesora propone de manera explícita la identificación de hechos que facilitaron el desarrollo de la Biotecnología y la construcción de una línea del tiempo acerca de esos hechos, con lo cual busca el aprendizaje de aspectos históricos y epistemológicos de la Biotecnología. En la clase 12 la relación P a C fue de referencia, dado que Alejandra busca que los estudiantes comprendan y cuestionen las ventajas y desventajas del *fracking*.

Las relaciones entre las Estrategias de enseñanza y los Propósitos también tuvieron un nivel alto de frecuencia, y su complejidad promedio fue intermedia (ver figura 8), lo anterior se debe, como ya señalamos, a que durante la mayoría de las clases Alejandra presentó de manera explícita sus propósitos de enseñanza, los cuales estuvieron directamente articulados con las estrategias de enseñanza planteadas.

Durante las clases también observamos relaciones con los componentes Conocimiento de los estudiantes, con una complejidad inicial; Evaluación, con una complejidad intermedia y con el componente Contexto (la cual desarrollaremos en el apartado de Conocimiento sobre el Contexto), con una complejidad de referencia, todas ellas con un porcentaje bajo de aparición, pero que dan cuenta del papel que juega el conocimiento sobre los propósitos de enseñanza en la integración y articulación del CDC en acción de la profesora Alejandra.

#### 4.1.2.2.1.3.4 Conocimiento sobre la evaluación

La figura 10, nos permite notar que un 12,1% del total de las relaciones entre componentes del CDC en acción de la profesora Alejandra son establecidas por el componente Evaluación, lo que corresponde a un poco menos de la mitad de las relaciones que establece el componente Estrategias de enseñanza e indica que durante su práctica de enseñanza de la Biotecnología, Alejandra hace uso de su conocimiento sobre la Evaluación, reconociéndola como mecanismo que permite identificar tanto el alcance de los propósitos de enseñanza, como los aspectos por mejorar de su práctica docente.

De esta manera, y atendiendo a las subcategorías que planteamos inicialmente, en lo que sigue, presentaremos algunos ejemplos que nos permiten visualizar el componente conocimiento sobre la evaluación del CDC en acción de la profesora Alejandra respecto a cada una de las subcategorías del componente conocimiento sobre la evaluación.

- **Conocimiento de las dimensiones de la evaluación**

Durante las clases sistematizadas Alejandra evalúa contenidos tópicos específicos conceptuales y procedimentales, en la mayoría de los casos a través de preguntas abiertas y/o cerradas.

Es el caso, por ejemplo, de la tercera clase, en la que indaga a una estudiante acerca de los conceptos respiración y fermentación:

*P.1: Bien, cuéntame ¿qué entendiste de ese párrafo que acabamos de leer?, sólo Angie, con tus palabras, cuéntanos*

*E.9: Pues que la respiración es un proceso, como de respiración anaeróbica.. ¿qué?, anaeróbica y que se le ocurre en los seres vivos*

*P.1: Te pregunto, ¿la respiración y la fermentación es lo mismo?*

*E.5: No*

*P.1: ¿No?*

*E.9: No*

*P.1: Entonces, mira lo que tú me dijiste, vuelve por favor otra vez a comentar... (Clase P1.C3).*

De igual manera, durante la cuarta clase, Alejandra hace preguntas con las que evalúa contenidos conceptuales, relacionados con la definición de fermentación:

*“P.1: Carolina, ¿la fermentación me ayuda a producir levaduras y bacterias?”*

*E.14: Nooooo*

*P.1: Mira lo que leíste, vuelve a leer por favor.*

*E.14: Profe es que lo copie en desorden, es que se me ocurría más y lo copiaba*

*P.1: Bien, por favor, pilas con lo que están escribiendo” (Clase P1.C4).*

Así mismo ocurre, por ejemplo, durante la sexta clase, en la que, a través de preguntas evalúa contenidos relacionados con las clases de fermentación:

“P.1: [...] a este tipo de fermentación que acabamos de colocar ahí, ¿cómo la llamamos?”

E.5: ehhh, láctica

P.1: ¿Cómo la llamamos?”

Estudiantes: láctica

P.1: Fermentación Láctica (escribe en el tablero Fermentación Láctica), muy bien, ¿Cuál es el sustrato?”

E.3: La leche

P.1: No, un azúcar disacárido ¿llamado qué?”

E.8: lactosa” (Clase P1.C6).

En este caso, las preguntas son cerradas y están orientadas a la repetición de información previamente informada.

En algunas de las clases Alejandra evalúa contenidos generales, entre ellos el contenido de saber leer, así, por ejemplo, en la primera clase evalúa la comprensión lectora, en particular de textos de divulgación científica, cuando señala:

P.1: “[...] vamos a seguir ejercitando la lectura porque ya nos dimos cuenta que tenemos gravísimos errores, ¿está claro?” (Clase P1.C1).

Adicionalmente, Alejandra evalúa, a través de preguntas algunos contenidos procedimentales relacionados con el proceso de la fermentación acética que lleva a cabo durante la práctica de laboratorio, como podemos ver en el siguiente fragmento de las clases 6:

“P.1: [...] Hasta ahí, ¿qué obtenemos? ¿Para qué nos sirve la levadura? ¿Qué vamos a obtener ahí? Recuerden que ayer dijimos que el proceso se dividía en dos partes

E.8: Fermentación

P.1: ¿Una fermentación qué?”

E.5: La levadura va a producir alcohol

P.1: Una fermentación alcohólica, y de esa fermentación alcohólica entonces vamos a dejar durante 20 días más o menos, ¿hasta obtener?”

E.8: Con ayuda del oxígeno

P.1: Con ayuda del oxígeno, ¿qué?, ¿la fermentación qué?” (Clase P1.C6).

Nuevamente cabe señalar que, en estas clases, las preguntas que realiza Alejandra son preguntas cerradas y están orientadas a la repetición de información.

- **Conocimiento de los momentos y la finalidad de la evaluación**

Alejandra lleva a cabo momentos de evaluación diagnóstica y evaluación sumativa. En este sentido, vemos como, por ejemplo, durante la segunda clase Alejandra aprovecha las exposiciones de las líneas del tiempo que realizan los estudiantes para llevar a cabo una evaluación diagnóstica acerca de los contenidos involucrados en dichas exposiciones a través de preguntas cerradas, que le permiten establecer el nivel inicial de los estudiantes al respecto, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

P.1: “Y tú cómo crees que se llama eso, de A con qué perdón, ¿cómo fue qué dijiste?”

E.2: A con G

P.1: ¿Qué es eso?, ¿qué significan la A y la T?”

E.2: Eso sería Adenina

E.2: Ah, ya me acordé, eso sería Adenina, Guanina, Timina y Citosina

P.1: Bien, listo. ¿Y qué pasa con eso?”

E.2: Pues que combinan ¿no?”

P.1: ¿Qué combinan?, ¿Combinan? Bueno, qué más, sigue, sigue. Sigue y vamos a ir aclarando durante el semestre estos términos”. (Clase P1.C2).

Así, a través de las respuestas que obtiene de parte de los estudiantes Alejandra establece que es necesario abordar a profundidad contenidos relacionados con el ADN, y el genoma humano, entre otros, de los que espera hablen con claridad al finalizar el semestre.

P.1: “vamos a empezar a trabajar todo lo de ADN y a dilucidar o a aclarar esas dudas que nosotros tenemos acerca del genoma, al final del semestre vamos a cojer éste mismo material así que no lo pueden botar y vamos a hacer nuevamente la exposición, pero ya voy a exigir que me hablen con claridad sobre qué es ADN recombinante, porque ya ustedes hablaron algo de eso, sobre qué significan las bases nitrogenadas, sobre qué tipos de bases son, pero, ya van a tener el conocimiento, para cojer tema por tema y aclararlo, ¿verdad?” (Clase P1.C2).

Alejandra también acude a la evaluación diagnóstica durante la novena clase, en este caso utiliza preguntas para indagar acerca de los conceptos asociados a las moléculas orgánicas y moléculas inorgánicas, como podemos notar a continuación:

“P.1: ¿Esas moléculas son orgánicas o inorgánicas?”

Estudiantes: Orgánicas

P.1: Orgánicas, ¿por qué sabemos que son orgánicas?”

E.5: porque ahí dice

P.1: A porque ahí dice, pero ahí no nos dice porque, no dice porque tienen carbono, o porque tienen nitrógeno, o porque tienen estas y estas características, o porque tienen enlaces covalentes, o enlaces iónicos, de eso no nos hablan, ¿verdad?

Bien, vamos a empezar a leer este documento, y lo vamos a leer en voz alta, por favor en grupitos de dos, ya les digo quienes, para aclarar cuál es la diferencia entre moléculas orgánicas e inorgánicas, y por qué razón están formando a los seres vivos” (Clase P1.C9).

Adicionalmente, cabe señalar, que, durante la cuarta clase, Alejandra evalúa los mapas conceptuales de los estudiantes acerca de la relación entre los nutrientes y los procesos fermentativos a través de una firma que pone en los cuadernos:

“P.1: Mientras terminamos nuestra hora de clase, se llegan las 11 y 45, me van a terminar de construir la parte de lípidos, yo les firmo en su cuaderno y terminan lo de carbohidratos en su casa, vamos adelantando (Clase P1.C4).

Una situación parecida ocurre durante la clase 12, en la que Alejandra firma los cuadernos en los que desarrollan las actividades propuestas sobre *fracking* y biorremediación.

Al respecto, interpretamos que en estos casos Alejandra no hace ningún ejercicio de retroalimentación que permita regular el proceso de aprendizaje, y que la evaluación que realiza se constituye en una evaluación sumativa, dado que más adelante revisa los cuadernos en busca de las firmas y notas que ha puesto, lo cual se traducirá en una calificación en la planilla.

- **Conocimiento de los instrumentos de evaluación**

Durante casi todas las clases Alejandra acude a la realización de preguntas abiertas y cerradas que le permiten evaluar el aprendizaje de los estudiantes.

En este orden de ideas, durante la primera clase a través de las preguntas que hace, busca establecer si los estudiantes reconocen la validez de los hechos históricos que han identificado a partir de la lectura que hacen, así como la comprensión tanto del desarrollo de las actividades propuestas como del establecimiento de relaciones adecuadas entre la información del texto y los hechos que permitieron el desarrollo de la Biotecnología. Con lo que podemos decir que tanto en esta clase, como en las demás, varias de las preguntas que Alejandra realiza se constituyen tanto en estrategias de enseñanza como en estrategias de indagación de ideas previas, como en estrategias de evaluación de la comprensión de los estudiantes de los contenidos de enseñanza, tal y como podemos apreciar en el siguiente fragmento de la primera clase, en el que a través de la lectura, y acompañados por la profesora, los estudiantes construyen en el tablero una lista de hechos de la historia de la Biotecnología:



*“P.1: Listo, continuamos, página 6, hasta la página 6, quien quiera pasar a contribuir con la lista de los hechos que han marcado el desarrollo de la Biotecnología a medida que van leyendo lo puede hacer.*

*E.1: Profe, ¿la Bioquímica?*

*P.1: Es una ciencia. ¿Qué hizo la Bioquímica para ayudar?*

*E.1: Dice que desapareció las filosofías vitalistas*

*P.1: Pero, ¿qué fue lo que ella validó?*

*E.1: Que dio origen a un nuevo paradigma ...”* (Clase P1.C1).

Además de recurrir a preguntas, estrategia evaluativa predominantemente usada por Alejandra, la profesora también acude, en menor proporción a otro tipo de estrategias evaluativas, como el uso de preguntas de selección múltiple con única respuesta, que utiliza durante la octava clase. Cabe recordar que en esta clase Alejandra presenta a los estudiantes un blog sobre fermentación de la UNAM, del cual trabaja ciertos contenidos, y también la evaluación que aparece al final. La evaluación consta de cuatro preguntas cerradas de opción múltiple con única respuesta y la indicación de la profesora consiste en que los estudiantes trabajen en grupo, y en una hoja escriban las preguntas y marquen la respuesta. La profesora reiterativamente solicita a los estudiantes que lean y que miren los diagramas para poder responder a las preguntas.

*“P.1: Vuelvo y repito, copiamos la pregunta, copiamos las respuestas y me entregan la respuesta correcta por favor, ¿está claro?, marcan con una X*

*E.3: Pero, ¿sólo es marcarla?*

*P.1: Sí, solo marcar. La primera pregunta dice así: El CO<sub>2</sub> producido en la fermentación alcohólica proviene de la degradación del:*

*Acetaldehído, Ácido fosfoenolpirúvico, Ácido pirúvico o piruvato, Ácido láctico.*

*Devuélvanse al diagrama y buscan la respuesta. Recojo una hoja por grupo.*

Los estudiantes discuten en sus grupos

*P.1: Prohibido, prohibido ponerse de pie a copiarse de los demás”* (Clase P1.C8).

Lo interesante frente a este instrumento de evaluación, es que, a pesar de ser preguntas cerradas, y todas ellas de carácter memorístico, Alejandra fomenta la discusión y revisión de la información previamente presentada, buscando hacer de la evaluación un ejercicio colaborativo, que genere espacios de reflexión y de aprendizaje, más allá de una calificación.

Otra estrategia a la que Alejandra acude es al uso de herramientas TIC que apoyen sus procesos evaluativos, de esta manera, durante la clase 11, manifiesta a los estudiantes que ha calificado

los PowToon<sup>13</sup> sobre las diferencias entre moléculas orgánicas y moléculas inorgánicas (tarea que dejo en alguna clase pasada), señalando que a cada estudiante le va a hacer unas observaciones generales y que ya ha enviado algunas, y que aquellos a quienes les ha enviado no han hecho las modificaciones correspondientes, lo que nos permite pensar en la evaluación como un espacio de retroalimentación de aspectos por mejorar, que contribuyen al aprendizaje de los estudiantes y también en el uso que Alejandra hace de las TIC, tanto como estrategia de enseñanza como mecanismo para la evaluación.

- ***Conocimiento de las formas de evaluar***

En el trascurso de sus clases, Alejandra da cuenta de su conocimiento respecto a las formas de evaluar. En este sentido, como parte de la evaluación, en varias clases se refiere o desarrolla ejercicios de coevaluación, de evaluación por personas externas al grupo, y también de heteroevaluación como ya hemos mencionado.

Es así como, por ejemplo, al final de la primera clase Alejandra da a conocer a sus estudiantes la tarea que deben realizar en Semana Santa, señalando que no va a ser ella quien decida cuál es el mejor trabajo, sino que lo van a decidir los estudiantes y unas personas ajenas al grupo. Lo que hace referencia tanto a un proceso de coevaluación, es decir a un proceso de evaluación conjunta entre los estudiantes y la profesora, como a un proceso de evaluación externa, con lo que da cuenta de su conocimiento de las diferentes formas de evaluar.

Alejandra indica además los criterios de presentación del trabajo y la calificación que pueden obtener según la calidad del mismo, de esta manera señala que el mejor trabajo, deberá ser llamativo, o sea muy bonito, tener contenido, o sea que quien lo vea, entienda de lo que se está hablando y además deberá tener una secuencia, es decir que se entienda que hay unos trabajos que fueron antes, otros trabajos que están en la mitad y otros que están realizándose actualmente. Adicionalmente señala que el mejor trabajo tendrá una nota de 5.0, el segundo mejor trabajo una nota de 4.0 y el tercer trabajo una nota de 3.0, pero que, si todos los trabajos están con las condiciones que ha solicitado en cuanto a contenido, presentación y secuenciación, no tiene ningún inconveniente en ponerles a todos 5.0.

Con lo anterior, Alejandra da cuenta de su conocimiento sobre la heteroevaluación, y en este sentido, de la importancia de compartir con sus estudiantes los criterios de evaluación y de su conocimiento de la valoración cuantitativa establecida por la institución, la cual es empleada por

---

<sup>13</sup> PowToon es un software de animación basado en la web que permite a los usuarios crear presentaciones animadas manipulando objetos pre-creados, imágenes importadas, música proporcionada y voces creadas por el usuario.

ella de una manera flexible, buscando motivar a sus estudiantes por el aprendizaje de la historia y desarrollo de la Biotecnología.

Al igual que en la segunda clase, en la que los estudiantes exponen las líneas del tiempo, durante la décima clase, en la que presentan sus infografías acerca de la clasificación de la Biotecnología por colores, Alejandra posibilita espacios de auto evaluación, coevaluación y heteroevaluación. Así, una vez cada estudiante finaliza la exposición de su infografía, Alejandra le solicita a otro de los estudiantes que evalúe a su compañero, preguntándole que, si él fuera el maestro del estudiante que estaba exponiendo, ¿qué nota le pondría y por qué?, con lo cual se realiza una actividad de coevaluación.

Sin embargo, la evaluación está dirigida principalmente a aspectos tales como la disposición para la exposición, la extensión de las carteleras, las imágenes en las carteleras, el tono de la voz empleado, entre otros.

De esta manera, podemos decir que, en esta clase, la evaluación realizada por Alejandra no contempla la evaluación de contenidos conceptuales implicados en las exposiciones que realizan los estudiantes, sin embargo, uno de los estudiantes desde su rol de profesor evaluador, si hace un llamado de atención al compañero que está evaluando, el cual tiene que ver con un error conceptual relacionado con la Biotecnología gris:

*“E.3: Al muchacho le hizo falta hablar duro, y pues que se equivocó en qué es la Biotecnología gris, que eso no es la Biotecnología gris, entonces que corrigiera eso y nos vemos en una, el jueves*

*P.1: A, ¿nos vemos el jueves?, ¿tú quieres que él repita la exposición el jueves? Ya sabes, el jueves, tienes el jueves dos minutos ¿Cuánto le pondrías?*

*E.3: Cuatro, porque el muchacho hizo buenos dibujos”* (Clase P1.C10).

No obstante, la evaluación del estudiante, al igual que en los otros casos, se orienta a la calidad de los dibujos y a la forma en la que su compañero realiza la exposición.

Durante la clase también observamos espacios para la autoevaluación, como podemos notar en el siguiente fragmento de la clase:

*“P.1: Listo, muy bien, yo te dejo tres con ocho. ¿Tú qué opinas?, ¿Qué tendrías que mejorar?, A conciencia, tú*

*E.9: Ehhh, yo opino que, yo pensé que tocaba hacerlo así y pues yo lo hice*

*P.1: Ahora, yo te valoro eso, eso me parece importante y tú lo acabas de decir, hace rato que tú no estabas como cumpliendo con tu deber y valoro que tú en este momento estás retomando eso, y espero que, por favor, las cosas vayan mejorando, no por mí, ni por tus compañeros, por tí, ¿listo?, ¿cómo te has sentido?*

*E.9: Bien”* (Clase P1.C10).

Con lo que reiteramos, la evaluación que se lleva a cabo cuando Alejandra desarrolla ejercicios de autoevaluación y coevaluación, está generalmente orientada a la evaluación de aspectos personales de los estudiantes o de las dinámicas de trabajo en grupo, así como al establecimiento de compromisos académicos, y no a la evaluación de contenidos tópicos específicos.

Lo que acabamos de presentar acerca del conocimiento sobre la evaluación de la profesora Alejandra, nos permite entender entonces, que en el mapa consolidado del CDC en acción de la profesora (Figura 8), las relaciones entre los componentes Estrategias y Evaluación, así como entre la Evaluación y los Contenidos tienen una complejidad inicial, lo anterior debido fundamentalmente al uso reiterativo que Alejandra hace de preguntas cerradas orientadas a la repetición de información, y a que los espacios de coevaluación y autoevaluación no se encaminan a la evaluación de aprendizajes asociados a la Biotecnología.

La relación de Evaluación a Estrategias tiene complejidad intermedia, dado que, durante su práctica Alejandra evalúa algunas de sus estrategias, como las exposiciones de las líneas del tiempo, algunos documentos de divulgación científica y el uso de los PowToon, que le permiten pensar en posibles modificaciones o replanteamientos.

La relación de Evaluación a Conocimiento de los estudiantes sin ser muy frecuente, tiene una complejidad de referencia, debido principalmente a que, en las clases 1 y 9 (ver figura 7), Alejandra reconoce que los estudiantes tienen conocimientos previos con relación a la Biotecnología, los cuales evalúa e incorpora al desarrollo de la clase, como observamos en el siguiente fragmento de la novena clase:

*“P.1: A ver, escúchenme por favor, ¿Cuáles son las moléculas inorgánicas que pueden llegar a formar parte de los seres vivos?, y ojo, pregunto, ¿las bacterias son seres vivos o son moléculas?*

*E.3: Son seres vivos porque se mueven*

*P.1: Son seres vivos. ¿Qué relación tiene una molécula con la bacteria?*

*E.9: ¿La molécula con la bacteria?*

*P.1: Sí.*

*E.9: Pues... cómo le digo*

*P.1: ¿Las bacterias están formadas por muchas moléculas o por una molécula?*

*E.9: Por muchas moléculas*

*P.1: Por muchas moléculas, entonces, por favor, pregunto, ¿la bacteria es una molécula?*

*E.3: No, ya sería...*

*P.1: ¿Por qué no?... ¿La bacteria es un ser vivo o no es un ser vivo?*

*Estudiantes: sí profe*

*P.1: Pregunto, ¿la bacteria es una molécula o qué es la bacteria?*

*E.9: Pues tiene moléculas*

*P.1: ¿Cómo?*

*E.9: Tiene moléculas, pero tiene vida*

*P.1: Está formada por moléculas, entonces no es una molécula, entonces es incorrecto decir que la bacteria es una molécula que forma a los seres vivos, ¿sí o no?, ¿Y por qué?*

*E.10: Es incorrecta*

*P.1: ¿Es qué?... ¿Por qué opinas tú que es incorrecto?" (Clase P1.C9).*

En el que, a partir de preguntas abiertas posibilita espacios de discusión, en los que la evaluación se realiza de manera compartida.

#### **4.1.2.2.1.3.5 Conocimiento sobre los estudiantes**

El porcentaje de las relaciones del componente de Conocimiento sobre los estudiantes (10,3%) (Tabla 14) equivale a una tercera parte del porcentaje del componente Estrategias de enseñanza, un valor que nos deja ver que, aunque no es muy frecuente, Alejandra utiliza el conocimiento sobre sus estudiantes en el desarrollo de los procesos de enseñanza de la Biotecnología.

En este sentido, en algunas de las clases, Alejandra indaga ideas previas de los estudiantes en relación con los contenidos de enseñanza, como podemos notar a través de los ejemplos que presentamos a continuación.

Durante la primera clase, antes de dar inicio a la lectura del documento *Presente y Futuro de la Biotecnología* Alejandra realiza varias preguntas abiertas con las cuales busca indagar ideas previas de los estudiantes acerca de la temática historia de la Biotecnología y del concepto historia. Lo anterior constituye un punto de partida para el abordaje de la temática de Historia de la Biotecnología, al permitirle a la profesora ubicar la atención y las ideas de los estudiantes en la temática a desarrollar, al mismo tiempo que los estudiantes pueden reflexionar acerca de lo que entienden por historia de la Biotecnología.

*"P.1: Bien, me van a escuchar por favor lo que vamos a hacer ahora, cuando estoy hablando de historia de la Biotecnología, ¿de qué creen ustedes que nos van a hablar en estos documentos que les he dado para trabajar de historia de la Biotecnología?"*

*E.1: los avances que ha tenido la Biotecnología*

*P.1: los avances, ¿qué más?, alguien más*

*E.2: Experimentos que han dado los científicos hacia la Biotecnología*

*P.1: Experimentos que han hecho los científicos hacia la Biotecnología, ¿qué otra cosa?" (Clase P1.C1).*

El anterior fragmento de la clase, nos deja ver, que, a través de preguntas, Alejandra retoma algunos hechos que hacen parte de la historia de la Biotecnología y que han sido abordados en clases anteriores, lo cual, posibilita que los estudiantes entiendan en qué consiste el trabajo solicitado.

Durante la primera clase Alejandra, además, hace preguntas abiertas y cerradas relacionadas tanto con la información contenida en el documento leído como con el conocimiento previo de los estudiantes respecto a los acontecimientos del Neolítico, abordados en clases anteriores.

En este sentido, durante la cuarta clase, Alejandra también hace preguntas, a través de las cuales indaga conocimientos previos de los estudiantes, en relación con los procesos aerobios y anaerobios, los cuales, intenta complejizar, durante la construcción de un mapa conceptual sobre fermentación.

Alejandra también tiene en cuenta las ideas previas de los estudiantes, originadas en su cotidianidad, tal es el caso de las ideas acerca del mucílago que indaga durante la segunda clase, en la que aborda la relación entre los procesos fermentativos y la producción de café.

*“P.1: ¿Quién ha visto?, ¿quién ha visto o ha recogido café alguna vez en las fincas de los abuelos?”*

*Estudiantes: Yo* (varios estudiantes levantan la mano)

*P.1: ¿Mucílago es igual a qué?*

*E.8: A la cáscara*

*P.1: A goma, a ver, empiecen a relacionar eso*

*E.3: A la cáscara*

*P.1: No, ¿la cáscara es goma?*

*P.1: Cuando cogen el café no les quedan las manos con una especie de pegante que va haciendo que la mugre se adicione, se peque ahí*

*E.1: Sí*

*P.1: Eso es parte del mucílago, ¿Qué más será mucílago?”* (Clase P1.C3).

Durante la novena clase también evidenciamos que Alejandra indaga ideas previas relacionadas con la cotidianidad de los estudiantes, lo anterior dado que en la lectura que realizan se menciona al colesterol, sin embargo, no profundiza al respecto ni complejiza estos conocimientos:

*“P.1: Bien, alguno de ustedes ha escuchado a sus papás que les hacen el examen del colesterol, y que le subió el colesterol, y que los pusieron a dieta.*

*Estudiantes: No*

*P.1: ¿No?, ¿no los han puesto a dieta?, o si los pusieron a dieta no hacen caso*

*Estudiantes: Sí*

P.1: Bueno, entonces, ojo con eso, sigamos” (Clase P1.C9).

Cabe señalar, además, que Alejandra suele destacar los aspectos positivos de los trabajos presentados por los estudiantes, así, por ejemplo, durante la primera clase, una vez los estudiantes terminan de construir la lista de hechos de la historia de la Biotecnología, la profesora reconoce los logros de los estudiantes cuando aplaude y los felicita:

P.1: “[...] Listo [aplaude] muy bien, los felicito porque por fin, ehh, se tomaron el trabajo de leer parte del artículo y por lo que veo no está tan difícil, muy bien” (Clase P1.C1).

Durante la octava clase también reconoce el trabajo de una estudiante que escribió en el foro (grupo de discusión del Facebook) sobre una página de internet que había leído, con lo anterior valora su trabajo y fomenta la participación del resto de estudiantes en las jornadas de discusión que realiza a través del grupo de Facebook.

Adicionalmente, podemos señalar, que de manera general Alejandra tiene en cuenta las preguntas que le hacen sus estudiantes, dando respuesta de manera asertiva a los cuestionamientos que ellos le hacen.

Así por ejemplo durante la quinta clase atiende la solicitud de uno de los estudiantes, y vuelve a explicar el ejercicio propuesto, realizando un mayor esfuerzo didáctico en aras que los estudiantes entiendan lo que deben realizar:

“P.1: Pregunto, ¿me hice entender qué tienen que hacer?, ¿entendimos que teníamos que hacer?, ¿aquí entendimos?” (les pregunta a los estudiantes de uno de los grupos)

E.2: *profe, ¿de cada una se saca el significado?*

P.1: *Sí, ¿te vuelvo a explicar?*

E.2: *Sí profe” (Clase P1.C5).*

Algo parecido ocurre en la séptima clase, durante la observación de los resultados de la práctica de laboratorio, cuando un estudiante pregunta por la definición de homogéneo, y en la novena clase, cuando otro estudiante pregunta por la definición de moléculas señaladoras y transportadoras:

“E.6: *¿Qué son moléculas señaladoras y transportadoras?*

P.1: *Hay un, cuando hay metabolismo, hay unas moléculas que dirigen, hacen señales y dirigen a las otras para que se ubiquen en ciertos lugares y puedan realizar, por ejemplo, en el caso de las enzimas, que se ubiquen en los sustratos. ¿Y las otras, qué son?*

E.6: *transportadoras*

P.1: transportadoras, cuando hay cambio, ehh, intercambio de electrones, ehh, hay unas que se encargan de llevarlos al lugar e intercambiarlos” (Clase P1.C9).

Por otra parte, cabe mencionar que en el transcurso de las clases Alejandra tiene en cuenta características particulares de sus estudiantes. Por ejemplo, durante la segunda clase, delega la organización de la línea del tiempo colectiva a dos estudiantes, quienes manifiestan problemas de indisciplina. Los dos estudiantes efectivamente lideran el desarrollo de la actividad, motivando a los demás compañeros a seguir sus instrucciones, con lo cual Alejandra logra involucrarlos activamente en el desarrollo de las actividades propuestas. Situaciones parecidas ocurren en otras clases, en las que Alejandra busca motivar a los dos estudiantes para que desarrollen las actividades.

Finalmente, y en términos generales cabe señalar que en todas las clases observadas los estudiantes participan activamente en el desarrollo de las actividades propuestas, las cuales, en su mayoría, se llevan a cabo a través del trabajo y la discusión en grupo, dentro de un ambiente respetuoso. Es así como, durante la novena clase, Alejandra fomenta la participación de los estudiantes en un debate acerca de la estructura de los seres vivos, en ese sentido, solicita sus opiniones acerca de las respuestas que leen otros compañeros y, retoma las intervenciones de varios estudiantes, incluyéndolos en el debate. Adicionalmente, Alejandra, busca la participación de los estudiantes a través de la vinculación a un grupo de Facebook, resaltando aspectos positivos que derivan de su conocimiento de los chicos del grupo al que enseña:

P.1: “Les voy a pedir el favor que, en el grupo, ehh, de manera individual, se acerquen al face, y vamos a leer el documento, sobre este documento, mañana sábado en la noche va a haber una discusión, pero no se limiten a darme una sola respuesta, no sean tan comodinos, ustedes tienen, y me lo han demostrado que tienen muchas cosas que proporcionar. Entonces, por favor, y la otra cosa, yo puedo decirle lo que Valeria hizo hoy me pareció fabuloso, eso lo vamos a hacer a través del grupo: no estoy de acuerdo con Daniel y la respuesta que dio, porque el tal documento dice esto y eso y esto otro de los biocombustibles; no estoy de acuerdo, y Daniel va a entonces a discutir en serio” (Clase P1.C10).

En este orden de ideas, resaltamos que el componente conocimiento de los estudiantes del CDC en acción de la profesora Alejandra establece relaciones con los demás componentes (ver figura 8), de las cuales, la más frecuente es la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes, cuya complejidad promedio es intermedia, debido a que hubo algunas clases en las que la relación en mención tuvo complejidad inicial, otras en las que la complejidad fue intermedia y otras en las que la complejidad fue de referencia.



Así, y como ya mencionamos, en algunas clases Alejandra indagó ideas previas de los estudiantes, las cuales no desarrolló ni complejizo, lo cual llevó a que la complejidad de esta relación en esas clases fuera inicial, como en el caso de la clase 7, en la que al preguntar por las descripciones que hacen los estudiantes, algunos formulan afirmaciones y cuestionamientos que surgen de sus conocimientos cotidianos, al referirse al “suero”, conocimientos previos que interpretamos, no son ampliados ni desarrollados.

En este sentido, cabe señalar que hubo otras clases, en las que la complejidad de la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes también fue inicial, como en el caso de la clase 3 (ver figura 7), en la que Alejandra indaga por el mucílago, pero no complejiza dicho contenido, ni, lo relaciona con el proceso de producción del café.

En otras clases la complejidad de la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes fue intermedia, como en el caso de la clase 4, en la que a través de las preguntas que la profesora hace durante la construcción del mapa conceptual sobre fermentación, indaga conocimientos previos de los estudiantes, los cuales, busca sustituir por conceptos correctos:

*“P.1: O podemos escribir otra cosita, ¿cómo se llaman los procesos cuando se realizan en ausencia de oxígeno o en presencia de oxígeno, tienen dos nombres?, ¿cuáles son?*

*E.5: Oxidación*

*P.1: No*

*P.1: [...] ¿Cómo se llaman esos procesos?, voy a ponerlo de otra manera, ¿Qué nombre reciben los microorganismos que utilizan oxígeno para sus procesos vitales?*

*E.6: Aeróbicos y anaeróbicos*

*P.1: Ahhhh, entonces en ese caso el proceso es anaeróbico*

*E.6: y aeróbico*

*P.1: [...] las bacterias o los microorganismos aeróbicos ¿qué necesitan para sus procesos vitales?*

*E.9: Oxígeno*

*P.1: Oxígeno, perfecto. ¿Y los anaeróbicos?*

*E.5: mmmmm*

*P.1: Otro tipo de gases, entonces no lo hacen en presencia de oxígeno” (Clase P1.C4).*

Así, en esta y en las otras clases en las que la complejidad de la relación en mención es intermedia, vemos que la tendencia es que, Alejandra tiene en cuenta a los estudiantes, en el sentido de indagar su conocimiento previo, el cual, es identificado, pero no profundizado ni complejizado, hasta llegar a la evolución y el enriquecimiento de sus ideas previas.

Adicionalmente, cabe señalar que en la clase 9 la complejidad de la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes fue de referencia, ya que Alejandra hace varias preguntas que posibilitan la participación de los estudiantes en el debate generado y moderado por ella. Como ya hemos señalado, a través de sus preguntas los estudiantes manifiestan sus posiciones y argumentos, lo cuales son incorporados por Alejandra a la discusión respecto a la estructura de los seres vivos, buscando complejizar su conocimiento previo.

Con lo anterior podemos resaltar que Alejandra sabe que sus estudiantes tienen conocimientos previos y características particulares que lleva a su práctica de enseñanza de la Biotecnología.

Podemos decir además que en ocasiones Alejandra hace uso de su conocimiento sobre sus estudiantes, pero no a nivel del CDC, en la medida en que se preocupa por todos ellos, y en particular por dos estudiantes, quienes son indisciplinados y desatentos, alentándolos constantemente a trabajar activamente en el desarrollo de las clases, lo cual constituye una característica particular de la profesora. Con lo anterior queremos señalar además que Alejandra se preocupa por una formación que va más allá del aprendizaje de contenidos de la Biotecnología.

#### **4.1.2.2.1.3.6 Conocimiento sobre el contexto**

El análisis de la figura 10 nos permite notar que el componente Conocimiento del Contexto presenta un 1,3% del total de las relaciones, un valor pequeño, que nos lleva a señalar que Alejandra, aunque no desconoce situaciones con las que contextualizar la Biotecnología, hace un bajo uso de su conocimiento sobre el contexto durante sus procesos de enseñanza.

De manera particular podemos observar que el contexto es el único componente que no aparece en todas las clases sistematizadas, así, notamos que Alejandra hizo uso de su conocimiento sobre el contexto en las clases 2, 8, 10 y 12.

En este orden de ideas, durante la segunda clase, Alejandra posibilita que una estudiante socialice información de dos noticias de televisión, las cuales tratan acerca de dos avances de la ciencia colombiana, y uno en particular de un avance de la Biotecnología, pues tiene que ver con la obtención de células madre de placenta y su uso en la obtención de piel, de esta manera incorpora el contexto cultural a la clase.

En el transcurso de la octava clase, Alejandra proyecta a los estudiantes un video sobre la clasificación de la Biotecnología por colores, durante la observación del video manifiesta que el banco de semillas que desarrollan en el colegio pertenece a la agroalimentación, con lo que está

haciendo referencia a un proyecto escolar, con el busca contextualizar desde el plano escolar la información que los estudiantes encuentran en el video.

Adicionalmente Alejandra manifiesta su intención de hacer unas presentaciones a los estudiantes sobre cada una de las clases de Biotecnología de acuerdo a las investigaciones que se están realizando en Colombia y a nuestra legislación:

“P.1: Bien, ojo que no es la única clasificación que hay. Ahora vamos a mirar otra, donde estos tipos de Biotecnología tienen otro color, no es la única, está claro. Sin embargo, yo les voy a hacer las presentaciones de cada una de acuerdo con las investigaciones que se están realizando aquí en Colombia, y de acuerdo con la legislación nuestra, se los muestro para que vean que no es solamente ehh un color el que se maneja, ¿está claro?” (Clase P1.C8).

De forma que, de cierta manera, plantea que el contexto nacional en cuanto a la producción biotecnológica conlleva a una clasificación por colores diferente a la que les ha presentado, sin embargo, la actividad queda enunciada y no se desarrolla en el transcurso de las clases posteriores.

Por su parte, en la décima clase Alejandra realiza una presentación acerca de los biocombustibles apoyada en unas diapositivas de Power Point, en la cual se refiere a la cuestión sociocientífica generada por los monocultivos de plantas como la caña de azúcar, destinados a la producción de bioetanol, en su discurso, de manera explícita se refiere a dicha situación en Colombia, señalando:

“P.1: ¿Qué ha pasado con el azúcar para la venta nuestra? Que subió el precio de manera impresionante, si nosotros hacemos un comparativo de hace 5 años al precio del azúcar hoy en día. Si yo miro hace 5 años una libra de azúcar no costaba tanto como cuesta hoy en día, entonces, ¿qué hicieron? Como a las grandes productoras de azúcar les conviene más vender y les pagan un poco mejor, pues venden la caña de azúcar a los productores de bioetanol. Entonces, eso económicamente no significa equidad” (Clase P1.C10).

Con lo anterior Alejandra trae a la clase el contexto social de la producción de los biocombustibles en Colombia, reflexionando acerca de sus consecuencias en el plano económico, pero también en el plano de la equidad, lo que, da cuenta de una perspectiva sociocrítica de la producción biotecnológica.

Cabe señalar que en esta misma clase Alejandra señala como propósito trabajar un documento de Argenbio que les permitirá encontrar la relación entre la fermentación, la producción

industrial de biocombustibles y los carbohidratos. También expresa que van a observar un video sobre los biocombustibles en Argentina, enunciando que tiene cosas que también son aplicables a Colombia, por tanto, después de ver el video lo que van a tener que hacer es buscar qué es y cómo está la legislación en cuestión de biocombustibles en Colombia. Como podemos observar, ambos propósitos están directamente relacionados con el contexto de la producción industrial de los biocombustibles, tanto a nivel general, como a nivel nacional, sin embargo, dichos propósitos quedan enunciados, pues en esa clase no se realiza la lectura de tal documento, ni se retoma la legislación en Colombia sobre los biocombustibles.

Durante la doceava clase Alejandra contextualiza los contenidos biorremediación y *fracking*. Para ello acude a ejemplos de situaciones cotidianas relacionadas con la producción y uso de la gasolina y los pesticidas que le permiten definir ambos términos, problematizando al mismo tiempo el uso del *fracking*, en cuanto a sus consecuencias en el desequilibrio ambiental y del suelo para la agricultura:

P.1: “Bien, entonces oigan bien, cuando estoy hablando de biorremediación, estoy hablando de hacer algo por construir, por solucionar un problema de contaminación con algo que se llama petróleo. No solamente con el petróleo, sino con algo que se llama subproductos del petróleo, como la gasolina, como el querosene, con los pesticidas, ehh, con cualquier tipo de pesticida, con cualquier tipo de herbicida y que se va acumulando en la tierra, y que va ocasionando un desequilibrio en el suelo. Entonces al hablar de biorremediación, estoy hablando de cómo remediar, de cómo solucionar con organismos vivos. Pero resulta que alrededor del petróleo también se desarrollan algunas prácticas para obtener algunas cosas que están acompañando a ese petróleo, y a esa práctica, de extraer por ejemplo el gas se le llama fracking, y ha tenido consecuencias, dicen algunos que ecológicas, de formación de suelo, ehhh, de desequilibrio ambiental, de desequilibrio en los suelos que han ocasionado algunos problemas en cuestiones de agricultura. Entonces, oíganme bien, vamos a mirar las dos cosas” (Clase P1.C12).

Durante esta misma clase Alejandra contextualiza los contenidos biorremediación y fracking, a través de un artículo de la asociación ecologista Greenpeace, con lo que trae las perspectivas de instituciones sociales y al mismo tiempo problematiza el uso del *fracking*.

De lo anterior señalamos entonces, que si bien, durante las clases, Alejandra no hace un uso frecuente de su conocimiento sobre el contexto, en las clases en las que sí lo hace, este conocimiento, le permite no solo contextualizar la Biotecnología a los estudiantes, sino también problematizar tanto las implicaciones sociales de los productos y procesos biotecnológicos, tanto a nivel de perjuicios para la sociedad, como en el caso concreto de la clase 10, en la que cuestiona la regulación ética y la desigualdad social que genera la producción de los biocombustibles, como poner en evidencia sus beneficios para el ambiente, como en el caso de la clase 12, en la que

presenta la biorremediación como alternativa para la descontaminación producida por los derrames de petróleo.

Así, y de acuerdo con la tabla 14, notamos que, aunque el componente contexto es el que menos relaciones establece con los demás componentes del CDC en acción, en el sentido que sólo se relaciona con los componentes Contenidos, Estrategias y Propósitos de enseñanza, y que pese a que las frecuencias de estas relaciones son bajas, lo anterior contrasta con la complejidad, pues en todos los casos en los que el Contexto es el componente de destino observamos una complejidad de referencia, asociada a la perspectiva socio crítica con la que Alejandra hace uso de su conocimiento sobre el contexto de la Biotecnología.

Vale la pena señalar además, que el uso del conocimiento sobre el contexto de la Biotecnología, le permite a Alejandra complejizar la enseñanza de las ciencias, en la medida que le posibilita abordar de manera articulada distintos contenidos, entre ellos la fermentación de carbohidratos, la producción industrial de biocombustibles y la relación entre dicha producción y la Biotecnología, problematizando tales contenidos y presentando al mismo tiempo a los estudiantes cuestiones sociocientíficas al respecto.

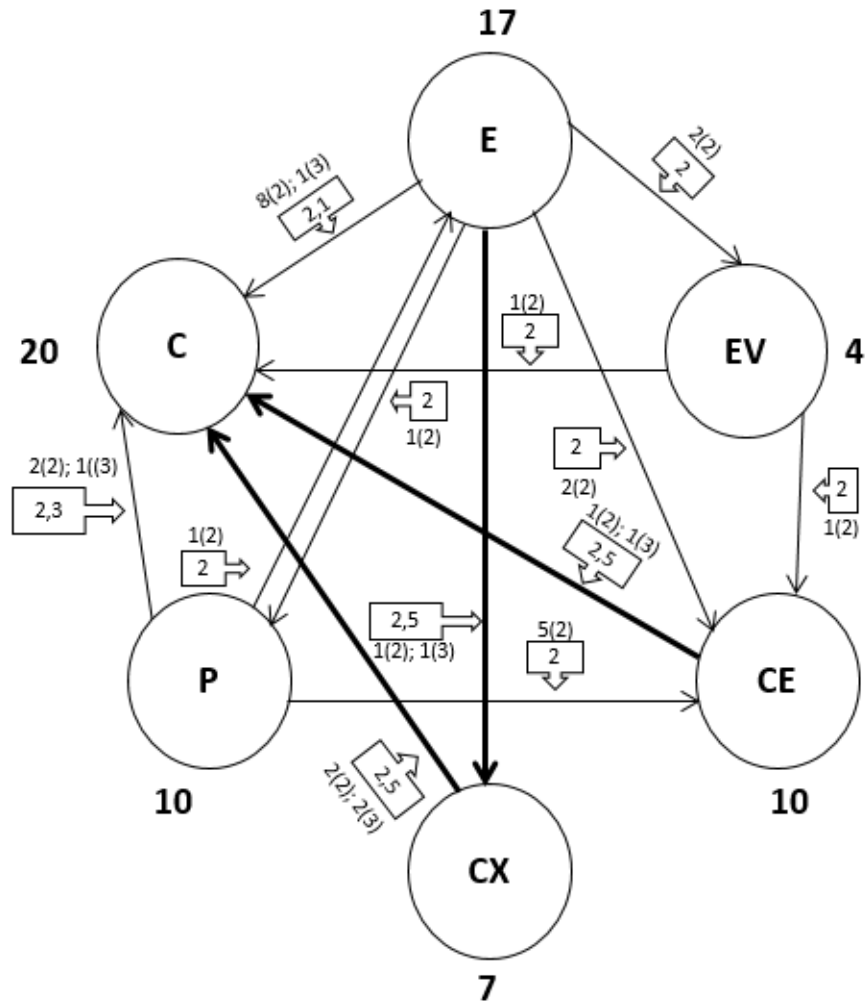
#### **4.1.3 El CDC declarativo de la profesora Alejandra**

A continuación, haremos referencia a las interpretaciones que hicimos del mapa del CDC declarativo de Alejandra, construido a partir de la sistematización de sus respuestas a la entrevista semiestructurada con la que aplicamos el cuestionario del instrumento ReCo (Representación del Contenido) que elaboramos en esta investigación. Inicialmente presentaremos el mapa del CDC declarativo, luego nos referiremos a la estructura de este CDC, en términos de los componentes encontrados, su frecuencia, las relaciones entre componentes y los niveles de complejidad de tales relaciones. Finalmente presentaremos nuestra interpretación acerca de cada uno de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra, dentro de cada componente describiremos aspectos generales a través de algunos fragmentos que consideramos relevantes y retomaremos aspectos acerca de la frecuencia, del tipo de relaciones con otros componentes y de la complejidad de estas relaciones.

##### **4.1.3.1 Mapa del CDC declarativo de la profesora Alejandra**

A continuación, observamos el mapa del CDC declarativo de Alejandra. Cabe recordar que el mapa deriva de la sistematización de las 15 preguntas del instrumento ReCo de acuerdo a lo descrito previamente en el capítulo de metodología. El mapa fue construido teniendo en cuenta

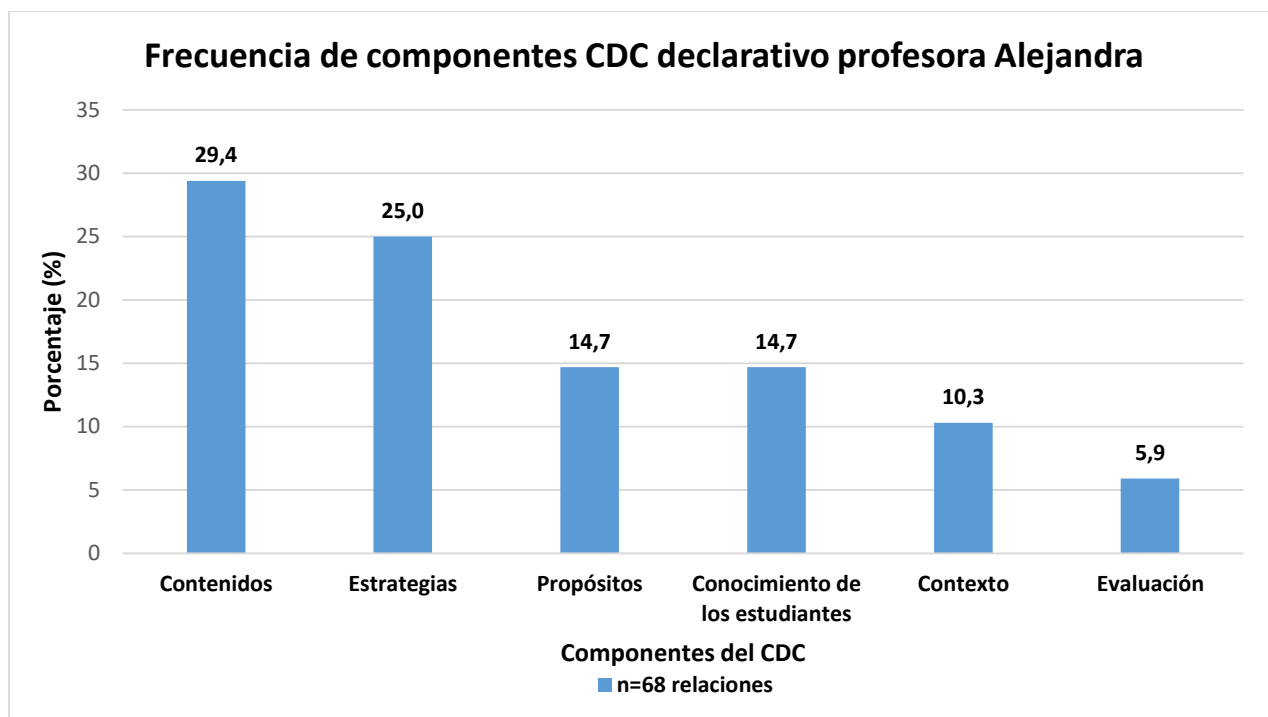
el resultado de la suma de las cantidades de cada tipo de relación observada en las respuestas, así como el valor promedio de la complejidad de cada relación.



**Figura 12.** Mapa del CDC declarativo de la profesora Alejandra

#### 4.1.3.2 Frecuencia de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra

En la idea de analizar el CDC declarativo de la profesora Alejandra, hemos realizado una gráfica de barras (Figura 13) que nos permite visualizar la frecuencia de cada componente en el mapa consolidado de su CDC declarativo. Dicha frecuencia corresponde al porcentaje en el que está presente ese componente en el mapa, respecto al número total de las relaciones que establecen los componentes, que para este caso son 68 ( $n = 68$ ).



**Figura 13.** Frecuencia de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra.

De acuerdo con la gráfica, notamos que en el CDC declarativo de la profesora Alejandra, el 29,4% del total de las relaciones son establecidas por el componente Contenidos de enseñanza, y que el 25,0% son establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, lo cual conlleva a que estos sean los componentes mayoritarios de su CDC declarativo. De otra parte, los componentes Propósitos de enseñanza y Conocimiento de los estudiantes, tienen el mismo porcentaje, correspondiente a 14,7%, valor de frecuencia equivalente a la mitad de las relaciones que establece el componente Contenidos de enseñanza, por lo que también desempeñan un papel importante en el CDC declarativo de Alejandra. De igual manera, observamos que los componentes Contexto, con una frecuencia de 10,3% y Evaluación, con un 5,9% del total de las relaciones, son los componentes minoritarios del CDC declarativo de Alejandra.

#### 4.1.3.3 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones

A continuación, presentamos una tabla que nos permite visualizar las relaciones entre los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra.

Teniendo en cuenta los valores de los porcentajes de las relaciones entre componentes del CDC declarativo de Alejandra, hemos establecido tres rangos de porcentajes: Bajo de 0 a 8,8%, Medio de 8,9% a 17,7% y Alto de 17,8% a 26,5%. En la tabla cada rango de porcentaje está representado

por un color así: el azul representa el rango de porcentaje bajo, el anaranjado representa el rango medio y el verde representa el rango alto. Adicionalmente, observamos flechas de diferente estilo que nos informan el nivel de complejidad de cada relación de la misma manera que se ha venido haciendo.

Componente Destino \ Componente Origen	C	E	P	CE	EV	CX
C		-	-	-	-	-
E	26,5% →		2,9% →	5,9% →	5,9% →	5,9% →
P	8,9% →	2,9% →		14,7% →	-	-
CE	5,9% →	-	-		-	-
EV	2,9% →	-	-	2,9% →		-
CX	14,7% →	-	-	-	-	

**Tabla 15.** Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC declarativo de la profesora Alejandra (n= 34). El color azul representa el rango de porcentaje bajo, el color anaranjado representa el rango medio y el color verde representa el rango alto. → representa complejidad de referencia (perspectiva socio crítica de la producción), → representa complejidad intermedia (perspectiva tecnológica fundamentada de la producción) y - - - → representa complejidad inicial (perspectiva técnica de la producción).

El análisis de la tabla 15, nos deja ver, que en el CDC declarativo de la profesora Alejandra el **componente Contenidos de enseñanza** es el que genera mayor número de relaciones en total. Podemos observar que, todas las relaciones que establece, ocurren cuando actúa como componente de destino. En este sentido, la relación de más alto porcentaje de aparición es Estrategias a Contenidos, con un 26,5%, seguida por las relaciones Contexto a Contenidos (14,7%), Propósitos a Contenidos (8,9%), que se encuentran en un rango medio de porcentaje, y Conocimiento de los estudiantes a Contenidos (5,9%) y Evaluación a Contenidos (2,9%), que se encuentran en un rango bajo de porcentaje. De estas relaciones solamente la relación Contexto a Contenidos tiene una complejidad de referencia, las demás tienen complejidad intermedia.

De otra parte, encontramos que el **componente Estrategias de enseñanza** es el que precede al número de relaciones establecidas por los Contenidos de enseñanza, lo que da cuenta de un CDC declarativo enfocado en las Contenidos de enseñanza, pero también en las Estrategias de enseñanza. Lo anterior es resultado precisamente, de la relación entre las Estrategias y los



Contenidos de enseñanza, que como ya dijimos, tiene el porcentaje más alto de todas las relaciones encontradas (26,5%), dando cuenta, desde lo declarativo, del uso que la profesora hace de su conocimiento sobre las Estrategias de enseñanza, que le permite emplear diferentes estrategias en el abordaje de los contenidos de enseñanza. Como podemos notar, el componente estrategias de enseñanza establece también relaciones con los demás componentes, actuando como componente de origen, y también con los propósitos de enseñanza, actuando como componente de destino. En todos los casos estas relaciones tienen complejidad intermedia, a excepción de la relación Estrategias a Contexto, cuya complejidad es de referencia.

Respecto al **componente Conocimiento de los estudiantes** encontramos que se establecen cuatro relaciones, una como componente de origen, con el componente Contenidos de enseñanza, con un porcentaje bajo de aparición y complejidad de referencia y tres como componente de destino, con los componentes Estrategias, Propósitos y Evaluación, de las cuales la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes tiene complejidad de referencia, mientras las otras tienen complejidad intermedia. La relación Propósitos a Conocimiento de los estudiantes se encuentra en un rango alto de porcentaje, mientras que las demás relaciones en un porcentaje bajo.

Respecto al **componente Propósitos de enseñanza** notamos, como ya habíamos dicho, que tiene el mismo porcentaje con respecto al número total de relaciones que el componente Conocimiento de los estudiantes, esto es, 14,7%, valor que corresponde exactamente a la mitad del porcentaje de las relaciones establecidas por el componente mayoritario, Contenidos de enseñanza. El componente Propósitos de enseñanza establece cuatro relaciones, una cuando es componente de destino, con el componente Estrategias, cuya complejidad es intermedia y su frecuencia es baja y tres cuando es componente de origen, con los componentes Contenidos, Conocimiento de los estudiantes y Estrategias de enseñanza, todas con complejidad intermedia, las dos primeras con una frecuencia media, y la última con frecuencia baja.

Respecto al **componente Contexto** observamos que en el CDC declarativo de Alejandra aparecen dos de las diez relaciones posibles, por lo que, en términos generales, este es uno de los componentes minoritarios. Cabe señalar que en el cuestionario del ReCo no se incluyó ninguna pregunta asociada a este componente, dado que no se contempló en nuestras consideraciones iniciales del CDC, sino que derivó de los hallazgos de la tesis. En este orden de ideas, podemos notar que cuando el Contexto es componente de origen ocurre la relación Contexto a Contenidos, con un porcentaje alto de aparición y una complejidad de referencia, mientras que cuando el Contexto es componente de destino, aparecen la relación con el componente Estrategias, con un porcentaje bajo de aparición, aunque con complejidad promedio de referencia.

En cuanto al **componente Evaluación**, podemos observar que solamente aparecen tres de las diez relaciones posibles, dos en las que es componente de origen, con los componentes Contenidos, y Conocimiento de los estudiantes, cuyas complejidades son intermedias, ambas en un rango bajo de porcentaje; y una cuando es componente de destino, con el componente Estrategias, también con un porcentaje bajo de aparición y complejidad intermedia.

#### **4.1.3.4 Descripción de los componentes del CDC declarativo de la profesora Alejandra**

Buscando ampliar y comprender mejor las características de los componentes del CDC declarativo de Alejandra, en lo que sigue intentaremos describir cada componente de acuerdo a lo encontrado durante el proceso de sistematización de las respuestas al cuestionario ReCo.

##### **4.1.3.4.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza**

A continuación, presentamos nuestra interpretación del componente Contenidos de enseñanza, teniendo como subcategorías de sistematización las siguientes: *Naturaleza de la Biotecnología*, *Contenidos conceptuales*, *Contenidos procedimentales* y *Contenidos actitudinales*.

- **Aspectos epistemológicos de la Biotecnología**

Durante su respuesta a la segunda pregunta Alejandra señala que intenta que los estudiantes aprendan sobre el rescate del conocimiento ancestral y el conocimiento indígena asociado a aplicaciones biotecnológicas en el sector salud, alimentario y de cultivo (agrícola):

“[...] lo primero, el rescate de mucho conocimiento ancestral, a mí me encanta que los chicos descubran que en el conocimiento ancestral, el conocimiento indígena, hay cosas que nos pueden en este momento salvar a nivel de salud, a nivel de alimentación, a nivel de cultivo, a nivel de aplicaciones en todo sentido, a nivel de salud, por ejemplo que en la parte de Biotecnología hay muchas aplicaciones que la gente no conoce, que están basadas en la Genética, en el manejo de la Genética, entonces, yo sí quiero y estoy tratando que en ellos cada vez se mejore mucho más la profundización y el conocimiento del funcionamiento de las células...” (P1.P1).

También hace referencia a aplicaciones biotecnológicas basadas en la Genética, por lo que manifiesta que está tratando que los chicos profundicen y comprendan cada vez más el funcionamiento de las células y así logren establecer relaciones entre ellas y la salud y las prácticas agrícolas. Con lo que se refiere a la estructura sintáctica de la Biotecnología, en la medida que manifiesta enseñar que la producción de conocimiento biotecnológico involucra la interacción con el conocimiento científico (de la Genética, por ejemplo) y el conocimiento ancestral e indígena. En este sentido, adicionalmente se refiere a la relación entre distintos

saberes involucrados en las aplicaciones biotecnológicas, tal es el caso de los conocimientos sobre Genética y sobre el funcionamiento de las células, lo que al mismo tiempo da cuenta de su perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología.

Durante su respuesta a la pregunta 4 Alejandra nuevamente hace referencia a la relación Ciencia – Conocimiento Biotecnológico, en la medida que señala mostrarles a los estudiantes que en la Biotecnología hay un conocimiento que requiere una disciplina científica. En este sentido, Alejandra también menciona que les muestra a sus estudiantes que en Colombia existen institutos de Biotecnología, donde se realiza investigación, haciendo referencia a enfermedades como el cáncer y el Alzheimer, que pueden tener tratamientos diferentes a los que ofrece la medicina tradicional o alopática y la química farmacéutica.

En su respuesta a la pregunta 14 señala que en grado once *“se trabaja Biotecnología desde el ADN y desde la Bioquímica, y la Microbiología, porque los de once tienen una parte de Microbiología”* (P2.P14).

Respuesta que da cuenta de su perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología, en la medida que para ella la enseñanza de la Biotecnología implica la enseñanza de contenidos de Microbiología y Bioquímica. En este orden de ideas Alejandra dice que respecto a la célula, contenido que desarrolla en el seminario de Fundamentos de Microbiología, aborda contenidos como membrana celular, pared celular, carbohidratos y función de los carbohidratos, y que en Bioquímica trabaja específicamente los cuatro grupos de moléculas: carbohidratos, proteínas, lípidos y ADN (ácidos nucleicos) a nivel celular; abordando aspectos relacionados con sus implicaciones, su funcionamiento, los tipos de enlaces en las moléculas, la identificación de proteínas y carbohidratos.

Expresa que en Microbiología habla de los microorganismos, de la clasificación, de la historia de la clasificación de los microorganismos, de los reinos, de las aplicaciones, los beneficios y perjuicios de los microorganismos a las plantas, los animales y la salud y que realizan cultivos de bacterias y cultivos de hongos para diferenciar las bacterias de los hongos.

En cuanto al objeto de la Biotecnología, interpretamos que para Alejandra éste objeto incorpora la producción y comercialización de productos como queso y kumis, lo anterior cuando manifiesta:

*“P.1: cuando empezamos a ver prácticas como hacer queso, prácticas como la fermentación para hacer yogures, para hacer kumis, pues ya ven que eso está mucho más al alcance de ellos, y que no es difícil, ni es nada extraordinario, ni va a exigirles un montón de cosas el empezar a hacer kumis y venderlos, lógico que hay que tener los permisos del INVIMA, pero ya son cosas más al alcance de sus...”*

*T: Sí, ¿y tú les muestras eso?, que la Biotecnología tiene relación con un producto que va a poderse comercializar, vender, que hay una rentabilidad*

*P.1: Que hay productos que ellos pueden fácilmente comercializar, pero que hay otro conocimiento que sí requiere una, digámoslo así, una disciplina científica..." (P1.P4).*

Durante su respuesta a la pregunta 6, Alejandra también hace mención a la obtención de productos a través de procesos de fermentación, lo que relaciona con la cotidianidad de los estudiantes y dice, le posibilita abordar otros contenidos de enseñanza como la célula, los microorganismos y la modificación de los microorganismos, con lo que nuevamente hace referencia a la obtención de productos como un elemento del objeto de la Biotecnología, incorporando de manera adicional la manipulación de lo vivo a dicho objeto.

Alejandra también hace referencia a la manipulación genética como característica de la Biotecnología moderna cuando, en su respuesta a la segunda pregunta señala que, aunque en el colegio no pueden hacer experiencias relacionadas con la Biotecnología moderna, debido a la falta de equipos para hacer el manejo genético de cortar y pegar ADN, los estudiantes sí conocen el proceso en mención.

En este mismo sentido, en su respuesta a la pregunta 6 señala que en el segundo semestre *"empezamos a mirar toda la parte de investigación biotecnológica, ya como investigaciones serias a nivel de Genética, entonces, empezamos a mirar clonación, por ejemplo, empezamos a mirar aplicaciones de la Biotecnología en la salud, miramos qué es un retrovirus, qué relaciones tienen los virus con el ADN, cómo se maneja el ADN, porqué se corta el ADN de las bacterias, porqué ciertas medicinas requieren de corte y pegue de ADN, de replicación, duplicación, todo ese tipo de cosas"* (P1.P6).

Con lo que nuevamente hace referencia explícita a asuntos relacionados con la modificación genética como parte del objeto de la Biotecnología.

En la respuesta a la pregunta 6 Alejandra también se refiere a la estructura sintáctica de la Biotecnología, en cuanto a las condiciones de producción y validación del conocimiento biotecnológico, en este sentido, hace mención a la investigación como forma de obtención de dicho conocimiento, que interpretamos, enseña a sus estudiantes, a través de visitas a centros de investigación, en este sentido señala:

*P.1: [...] además de todo el conocimiento previo, pues hay que tener en cuenta la investigación, yo no me puedo alejar de eso, entonces, eso no se muestra en los noticieros, eso no se muestra en los periódicos, y si en los periódicos se muestra es una información muy superficial. Entonces, si se puede hacer una visita por ejemplo al Instituto de Biotecnología que hay aquí en Bogotá, o*

al que era, el antiguo de Hematología, lo hemos hecho, entonces, se ven otro tipo de trabajos sobre células madre, hubo una niña que este año estuvo embarazada y como parte de su trabajo final hizo un trabajo sobre células madre, entonces, esas cosas hacen que los muchachos vean la existencia de otro tipo de cosas” (P1.P6).

Así, Alejandra se refiere a la investigación biotecnológica como un contenido de enseñanza que puede abordar una vez ha establecido relaciones entre la vida real, el conocimiento previo de los estudiantes y el conocimiento científico.

Alejandra también hace referencia a las patentes (licencias), como mecanismos a través de los cuales se valida el conocimiento biotecnológico, lo anterior cuando en el transcurso de su respuesta a la pregunta 12, manifiesta que *“hoy en día hay un montón de enfermedades que se tratan con Biotecnología, es más, incluso hay algunas licencias de esos medicamentos que están por vencer y que hay empresas que tienen ese tipo de licencias, entonces, se habla hoy día de unos biológicos similares a los que producen esas empresas o esos laboratorios farmacológicos, pero que tienen, digámoslo así, menor efectividad...”* (P1.P12), con lo que Alejandra hace referencia a las diferencias en cuanto a la producción de medicamentos entre empresas biotecnológicas que tienen las patentes de ciertos medicamentos, y las que no las tienen, y por lo tanto producen medicamentos menos efectivos, situación que dice, le permite relacionar el contenido de ADN (como parte de la Biotecnología moderna) con la influencia de la Biotecnología en la medicina.

- **Aspectos históricos de la Biotecnología**

La pregunta 12 del instrumento ReCo indaga particularmente por los aspectos históricos y epistemológicos que se tienen en cuenta durante la enseñanza de la Biotecnología, durante su respuesta Alejandra señala:

“P.1: Claro que sí, yo considero que es importante que ellos sepan de dónde viene eso, que eso no es actual, que eso es de siglos, que eso lo practicaba la gente hace mucho tiempo atrás, entonces, yo sí tengo en cuenta aspectos históricos y epistemológicos en ese sentido, eh, pues porque es importante, si yo voy a hablar de un proceso de fermentación pues es importante que él vea que el proceso de fermentación del pan o del vino viene desde los egipcios, que la abuela no tenía la nevera, pero que la abuela ponía la carne al humo para que no se llenara de bacterias y todo ese cuento y la dejaba ahumar, que cuando no había cuajo utilizaban el estómago del ternero o utilizaban la leche o el látex que suelta la breva, entonces, todas esas cosas para mí son importantes porque les permiten como crear un hilo conductor en el aprendizaje de esos conocimientos, entonces, yo sí tengo muy en cuenta eso, para mí es muy importante la parte histórica y la parte epistemológica” (P1.P12).

Con lo que expresa explícitamente que considera importante que los estudiantes sepan de dónde viene el conocimiento biotecnológico, que la Biotecnología no es algo nuevo, sino que se origina en prácticas realizadas en la antigüedad, refiriéndose a los procesos de fermentación del pan o del vino, originados con las culturas egipcias, pero también a procedimientos realizados por las abuelas antes de contar con las neveras, como procesos antiguos y propios, no solo de la tradición histórica de la Biotecnología en nuestro país, sino también de nuestra tradición cultural, reiterando la importancia de enseñar contenidos relacionados con el aspecto histórico de la Biotecnología en la idea de posibilitar a los estudiantes un hilo conductor en el aprendizaje del conocimiento biotecnológico.

De la respuesta de Alejandra a esta pregunta también interpretamos que relaciona la fermentación como proceso biotecnológico de la Biotecnología tradicional, mientras que contenidos relacionados al ADN con la Biotecnología moderna, lo anterior cuando dice: *“De la parte más moderna... todo lo de ADN, todo lo del descubrimiento del ADN, porque ha sido tan importante ese descubrimiento del ADN”*, contenidos que, como ya dijimos relaciona con aplicaciones biotecnológicas, como los medicamentos obtenidos a través de patentes y de ahí, con la influencia de la Biotecnología en la Medicina. Respecto a la Biotecnología moderna, en su respuesta a la segunda pregunta Alejandra también señala:

Adicionalmente, cabe señalar, que durante su respuesta a la pregunta 14 (que indaga por la secuencia de los contenidos de enseñanza), Alejandra expresa que desarrolla las temáticas de dos seminarios con los estudiantes. Dice que, en décimo, en el seminario de fundamentos de Biotecnología aborda la historia de la Biotecnología y que en el segundo semestre trabaja las aplicaciones biotecnológicas, lo que nos permite reiterar que Alejandra enseña contenidos asociados al aspecto histórico de la Naturaleza de la Biotecnología.

- ***Aspectos socioculturales de la Biotecnología***

Como ya hemos señalado, a través de sus respuestas Alejandra constantemente reconoce la relación entre la Biotecnología con otros sistemas de la sociedad como la medicina y la agricultura, pero también con la cultura del país, por lo que hemos decidido denominar este apartado como aspectos socioculturales de la Biotecnología.

Durante su respuesta a la pregunta 2, en lo que tiene que ver con las relaciones entre Biotecnología y sociedad se refiere a la importancia de enseñar agricultura orgánica a los niños, así como de enseñarle a los estudiantes a compartir dichos saberes con otros miembros de la comunidad educativa, en este caso, niños de primaria. Consideramos que cuando la profesora hace mención a las relaciones entre la Biotecnología y la agricultura orgánica, se está refiriendo a las relaciones entre la Biotecnología tradicional y el sector agrícola, por lo que hace mención a la huerta escolar como espacio de aprendizaje de la Biotecnología en el colegio:

*P.1: “esa es la parte social donde nosotros debemos aplicar [la agricultura orgánica], y otra cosa que de pronto, es como un sueño guajiro también es que los chicos pues empiecen a tener mayor incidencia aquí en la primaria, eso se hacía, los niños iban y les enseñaban a los niños, tenían el semillero, de hecho, la huerta de primaria se hizo fue por eso, porque se veía la necesidad de que los chicos fueran a practicar, pues eso se ha dejado como de lado, ¿cierto?, ahorita con lo del restaurante, y que ya no hay huerta en la sede B, la huerta está en la sede C, entonces ese tipo de cosas nos han quitado como espacio, y nosotros también hemos ido dejando esos espacios a un lado, entonces a mí sí me interesa que esa parte de la Biotecnología aplicada a la agricultura la empecemos a compartir con la comunidad. En algún momento se intentó y se hizo, trabajar con la gente de aquí de al frente del colegio y empezar a hacer terrazas de cultivo de alimentos de consumo diario como la lechuga, que se supone que es lo más común, eh, de tomate, para hacer una ensalada, de la alverja, ehh, de ese tipo de cositas que se pueden cultivar en la casa en una matera, de los pepinos, esas cosas, para que los chicos empiecen a trabajar con la comunidad en ese aspecto y que rescatemos lo que se estaba trabajando con los niños de primaria” (P1.P2).*

En su respuesta a esta misma pregunta, señala, además, como ya habíamos mencionado, que cuando aborda la Biotecnología moderna se refiere a las aplicaciones, por lo que los estudiantes buscan enfermedades que en este momento están tratadas con Biotecnología, espondilitis anquilosante, la artritis. En este sentido, adicionalmente, durante la respuesta que Alejandra da a la pregunta 4, menciona que les muestra a sus estudiantes que en Colombia existen institutos de Biotecnología, donde se realiza investigación, haciendo referencia a enfermedades que pueden tener tratamientos diferentes a los que ofrece la medicina tradicional o alopática y la química farmacéutica.

Cabe señalar, que durante la respuesta que Alejandra da a la pregunta 12, hace mención, como ya dijimos a empresas biotecnológicas y a la importancia de abordar el contenido de ADN en relación con la influencia que ese conocimiento y su desarrollo histórico tienen hoy en día, sobre todo a nivel de medicina.

De otra parte, cuando Alejandra responde a la pregunta 5 menciona que al inicio del semestre, en las clases de Biotecnología acude a una práctica con la que los estudiantes realizan una entrevista o un video averiguando en la plaza de mercado ¿cómo mantienen los alimentos si no hay nevera?, ¿cómo se hace la carne oreada?, ¿qué se utiliza para hacer el pescado seco?, ¿cómo hacen para que el pescado seco no se dañe y se llene de bacterias y de hongos y se pueda consumir?, ¿cómo hacen la chicha?, ¿cómo se hace el vino?, a través de la cual busca que los estudiantes relacionen la Biotecnología con prácticas biotecnológicas que se realizan en lugares cercanos a ellos como las plazas de mercado.

En este sentido, cabe señalar, como ya habíamos dicho, que Alejandra también expresa enseñar la Historia de la Biotecnología, a partir del reconocimiento de procedimientos realizados por las abuelas, como procesos antiguos y propios, no solo de la tradición histórica de la Biotecnología en Colombia, sino también de nuestra tradición cultural, con lo que incorpora saberes culturales,

ancestrales e indígenas a los contenidos que conforman sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

De esta manera, desde nuestra interpretación, de estas respuestas, Alejandra relaciona la Biotecnología con sistemas de la sociedad como el comercio en las plazas de mercado, pero también, con los saberes culturales, ancestrales e indígenas de la población colombiana, con lo que acerca la Biotecnología a la cotidianidad de los estudiantes y a partir de todo ese conocimiento aborda contenidos de enseñanza como la clasificación de los microorganismos, la utilidad de los microorganismos, el funcionamiento de las células y otros tipos de conocimientos.

En la respuesta a la pregunta 6, Alejandra señala que no se puede alejar de la investigación biotecnológica, ya que ni los noticieros ni los periódicos hablan al respecto, o si lo hacen, es una información muy superficial, con lo que hace mención a la relación entre la Biotecnología y los medios de comunicación como característica del aspecto social de la Naturaleza de la Biotecnología.

De otra parte, durante su respuesta a la pregunta 13 Alejandra manifiesta que los aspectos sociales que tiene en cuenta cuando enseña Biotecnología tienen que ver con la influencia que a nivel económico y a nivel social tienen los medicamentos biotecnológicos en las personas, en cuanto a que hoy en día esos tratamientos han llegado a personas de bajos recursos, a lo que se refiere como un cambio social, como podemos ver a continuación:

*P.1: “Aspectos sociales, pues cómo por ejemplo a nivel económico y a nivel social esos biotecnológicos [los medicamentos] han tenido influencia en las personas, eh, cómo han logrado llegar esos tratamientos a personas de menos recursos, cómo ahora eso se ha masificado y ya no se mira si usted es estrato 10 o estrato 1, sino que hay la posibilidad de eso y que chévere para uno como investigador ver que en ese cambio social puso un granito de arena...”*

Lo anterior denota una visión positiva de la influencia de la Biotecnología en la sociedad, sin embargo, en el transcurso de su respuesta Alejandra señala que durante el semestre los estudiantes realizan un trabajo sobre semillas transgénicas, en el que hacen un debate al respecto. Dice también que trabaja el contenido de la tecnología naranja y que hay un video que consiguió que le parece fundamental para abordar los cambios a nivel genético de las personas, así como a nivel ambiental en el aire, en las plantas y en el agua que hubo en el Vietnam después de las fumigaciones, adicionalmente menciona que también abordó el tema de Monsanto, lo que interpretamos da cuenta del cuestionamiento que Alejandra hace y por tanto lleva a las clases, de algunas aplicaciones biotecnológicas que involucran modificación genética.

*P.1: [...] dentro de los trabajos que se hacen en el semestre hay una parte, hay un tema de semillas transgénicas, se hace todo el debate, incluso, se trabaja un poco con toda la tecnología naranja, con lo del agente naranja, hay un video que conseguí que me parece drástico, me parece*



fundamental, sobre todos los cambios que hubo en el Vietnam después de las fumigaciones, sí, a nivel genético de las personas, a nivel ambiental, en el aire, en las plantas, en el agua, sí, hay un trabajo fuerte sobre eso, y sobre Monsanto (P1.P13).

- **Contenidos procedimentales**

Durante sus respuestas Alejandra se refiere a algunos contenidos procedimentales que declara abordar en sus clases de Biotecnología. Así, como ya habíamos mencionado, durante su respuesta a la pregunta 4, señala que realizan prácticas de fermentación para hacer queso, yogures o kumis, de lo que, asumimos, aborda contenidos asociados a los procedimientos para elaborar dichos productos.

Adicionalmente, durante su respuesta a la pregunta 7 Alejandra hace referencia a contenidos procedimentales asociados a las actividades prácticas, entre ellos observar, preguntar, explicar y plantear posibles soluciones, que señala, aborda cuando hacen trabajos de laboratorio o cuando desarrollan actividades prácticas en la huerta escolar:

*P.1: [...] a mí me parece importante la práctica, en cualquier materia como Química, como Biología, porque la práctica permite que el muchacho tome fotos, revise, vuelva, mire si la reacción fue positiva, por qué me dice que la reacción es positiva, si fue negativa, por qué no pudo, o por qué salió negativa, si es el cultivo en la huerta, bueno listo nos vamos a sembrar la mora, ya la mora está sembrada, pero está llena, está infestada de algo, ¿cómo hacemos para primero identificar qué es eso que tiene que le está perjudicando?, ¿qué organismo es y cómo lo puedo yo mantener a raya? (P1.P7).*

De otra parte, cuando Alejandra responde la pregunta 8 menciona que les enseña a los estudiantes a revisar cuáles son las páginas de Biotecnología que tienen información segura y proyectan una información real, lo cual asociamos a un contenido procedimental relacionado con el uso de las herramientas TIC que el énfasis pretende desarrollar en los estudiantes.

Adicionalmente, en su respuesta a la pregunta 14, expresa que cuando enseña Microbiología realizan cultivos de bacterias y cultivos de hongos para diferenciar las bacterias de los hongos.

- **Contenidos actitudinales**

En cuanto a los contenidos actitudinales, cabe señalar que durante la respuesta de Alejandra a la pregunta 10, la profesora manifiesta que a través de juegos de roles les enseña a sus estudiantes a trabajar en equipo, en este sentido señala:

*P.1: [...] normalmente aquí las mesas están organizadas en equipos de trabajo, no en grupos, en equipos de trabajo, y eso se ha venido mejorando con los años porque ya entiende uno y adquiere uno la posibilidad de mostrarles a ellos, a través de ciertos juegos o de ciertos roles cómo es trabajar en equipo, entonces, eso ha mejorado mucho, mucho, el trabajo de investigación (P1.P10).*

Todo el panorama anterior nos permite notar que Alejandra declara conocer y enseñar una amplia variedad de contenidos tópicos específicos a sus estudiantes, la mayoría de ellos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, tanto en cuanto a su aspecto epistemológico, como a sus aspectos histórico y social; de igual manera observamos que, en una menor proporción, Alejandra declara abordar contenidos procedimentales y actitudinales.

Como ya habíamos señalado, nuestra interpretación, nos lleva a expresar que desde lo que Alejandra declara, los contenidos de enseñanza no actúan como componente de origen en las relaciones que se establecen con los otros componentes. En este sentido, encontramos que en todas las relaciones establecidas los contenidos actúan como componente de destino, y así, observamos que las estrategias son planteadas de acuerdo a los contenidos que se quieren enseñar y que la relación Estrategias a Contenidos, que es la más frecuente (Figura 13), tiene una complejidad intermedia, en la medida que, en solo una de las 9 unidades de información (9 respuestas) en las que ésta relación aparece, Alejandra declara abordar desde una perspectiva socio-crítica contenidos relacionados con las semillas transgénicas y las consecuencias de la manipulación genética en Vietnam, mientras que en las otras aborda los contenidos desde una perspectiva tecnológica de producción, es decir desde la articulación de conceptos tanto biológicos como químicos implicados en los procesos biotecnológicos y el desarrollo de habilidades y destrezas procedimentales.

#### **4.1.3.4.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza**

En el transcurso de la entrevista semiestructurada Alejandra hizo mención a varias estrategias de enseñanza, las cuales presentamos a continuación.

- ***Prácticas de laboratorio***

En la respuesta a la pregunta 3 Alejandra señala que realiza prácticas de laboratorio y que una de las dificultades que encuentra en el uso de esta estrategia radica en la falta de reactivos y equipos para poder realizar actividades como los cultivos *in vitro*, sin tener problemas de contaminación, entre los que cita una cámara de extracción y cámaras de flujo laminar:

P.1: [...] a veces no hay reactivos, yo tengo aquí unos reactivos, pero no son lo suficientes, yo ya estuve haciendo una lista, entonces le toca a uno a veces arañar con las uñas las prácticas si uno realmente quiere demostrarles a los muchachos que hay otras cosas [...] esa ha sido una de las dificultades, eh, el material, algunas cámaras que hacen falta para hacer cultivos in vitro, porque si lo hemos hecho pero terminan contaminados, entonces hay que botarlos...” (P1.P3).

Manifiesta además que desde Secretaría de Educación no hay una política clara sobre el manejo de residuos de los laboratorios por lo que termina botando los desechos al vertedero, aunque también trata de hacer algunas prácticas empleando indicadores de pH naturales como flores y col morada para no generar residuos químicos.

En su respuesta a la pregunta 4, y como ya habíamos mencionado Alejandra se refiere a las prácticas de laboratorio sobre fermentación en las que hacen queso, yogur o kumis, como estrategias que posibilitan que los estudiantes cambien algunas de sus creencias acerca de la Biotecnología ya que les permiten ver que la Biotecnología está al alcance de ellos, y que no es difícil empezar a hacer kumis y venderlo.

En su respuesta a la pregunta 7, que indaga específicamente por las estrategias de enseñanza para la enseñanza de la Biotecnología, la profesora vuelve a referirse a las actividades prácticas como los trabajos de laboratorio. En este sentido, señala que al igual que en la enseñanza de ciencias como la Química y la Biología, la práctica en la enseñanza de la Biotecnología le parece importante, porque permite que el estudiante tome fotos, revise y de explicaciones respecto a las observaciones y los resultados obtenidos, es decir que desarrolle sus habilidades y competencias procedimentales.

- **Huerta escolar – Terrazas de cultivo**

En su respuesta a la pregunta 2 Alejandra se refiere a la huerta escolar como estrategia de enseñanza de la agricultura orgánica pero también como espacio que posibilita que los estudiantes de bachillerato enseñen (compartan) con los niños de primaria la Biotecnología aplicada a la agricultura. También se refiere a terrazas de cultivo en las que trabajaron con vecinos del colegio cultivando alimentos de consumo diario, buscando que los chicos enseñaran sus conocimientos a la comunidad respecto a la agricultura orgánica, con lo que además hace referencia a contenidos asociados a saberes culturales relacionados con cultivos propios de la sabana de Bogotá.

Durante su respuesta a la pregunta 7, también hace referencia a la práctica en la huerta, en ese sentido menciona como ejemplo el cultivo de mora y la posibilidad que los estudiantes se

planteen preguntas y respuestas relacionadas con los fenómenos observados, como la identificación y posibilidad de manejo de plagas (organismos que afectan el cultivo).

- **Estrategias TIC**

Dentro de las estrategias que Alejandra declara emplear en sus procesos de enseñanza de la Biotecnología, encontramos estrategias asociadas a las TIC.

En su respuesta a la pregunta 10, Alejandra dice utilizar un video sobre la tecnología naranja, con el cual aborda los cambios a nivel genético de las personas, así como a nivel ambiental en el aire, en las plantas y en el agua, que hubo en el Vietnam después de las fumigaciones con agentes tóxicos.

En su respuesta a la pregunta 7 la profesora también manifiesta incorporar las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) a sus estrategias de enseñanza. En este sentido cuenta que han trabajado la metodología *flipped classroom* en el abordaje de contenidos asociados a las proteínas, que ha utilizado videos para trabajar en casa, grupos de Facebook y la observación de videos bajo su orientación y acompañamiento:

“Ahorita nos estamos apoyando mucho en la tecnología, entonces por ejemplo este año estuvimos trabajando con flipped classroom, nosotros montamos los videos de proteínas y estuvimos trabajando todo el capítulo de proteínas con ese tipo de metodología, entonces, ellos miraban en su casa, yo les pongo a través del Facebook, en el grupo que tienen, les subo los link, les pongo no solamente los videos que nosotros hicimos, sino también los videos que hay en la plataforma, miramos qué cosas nos sirven, y luego hacemos la evaluación, a través de la internet, entonces aquí trajimos los computadores, se sentaron en grupo, trabajaron, miraron videos, yo también los proyecté, hicimos explicaciones, entonces, en ese aspecto sí nos apoyamos mucho en Biotecnología...” (P1.P7).

Cuenta también que llevó computadores al salón y que los estudiantes trabajaron en grupo, miraron videos en esos computadores y otros que ella proyectó y que hizo las explicaciones, promoviendo el planteamiento de inquietudes y preguntas respecto al tema abordado.

En su respuesta a la pregunta 8 también se refiere al uso de las TICs, señalando que, aunque los estudiantes saben publicar en el Facebook o tomar fotos con Instagram, ella les enseña a buscar páginas de internet con contenidos de Biotecnología, además, que las TICs le permiten llevar la Biotecnología a aquellos estudiantes que no les gustan las estrategias más tradicionales, como podemos observar en el siguiente fragmento de su respuesta:

*[...] el hecho de publicar en Facebook, o de tomar una foto con Instagram, no quiere decir que ellos manejen toda la tecnología, hay que enseñarles a revisar cuáles son las páginas que tienen información segura, qué páginas me proyectan una información real, porque no todas las páginas de medicina son reales, pues en el caso de la Biotecnología, no, entonces, normalmente se hace ese trabajo. Ahora, listo, que no le gusta nada de ese cuento, entonces, trabajemos la parte de la Biotecnología, la parte de Biotecnología proyectada en las TICs, entonces, bueno, no sé, se inventarán un periódico virtual, se les da la posibilidad a ellos de ver otras opciones de trabajo, diferentes, a las que normalmente uno ve en un bachillerato clásico (P1.P8).*

En cuanto a las TICs Alejandra también menciona en su respuesta a la pregunta 10 la participación en el grupo del Facebook y en el blog, la construcción y edición del video, como actividades que le permiten realizar la evaluación.

- **Otras estrategias**

Durante sus respuestas Alejandra hace mención a otras estrategias de enseñanza, entre ellas visitas a institutos de investigación en Biotecnología, como el Instituto de Biotecnología de Bogotá, el trabajo final de investigación que los estudiantes realizan como requisito del énfasis en Biotecnología, el debate que dicen hacen sobre semillas transgénicas, la lectura y discusión de noticias sobre clonación y transgénicos y el trabajo en grupo.

De lo anterior, interpretamos que el conocimiento sobre las estrategias de enseñanza de Alejandra se constituye en un componente de su CDC declarativo que integra y articula los demás componentes de este CDC. De esta manera, vemos que Alejandra expresa utilizar una amplia variedad de estrategias de enseñanza, y que hace uso de este conocimiento, no solo para abordar los contenidos de enseñanza, a través de la relación Estrategias a Contenidos, cuya complejidad es intermedia y frecuencia alta (ver figura 12), sino también para evaluar; acceder al conocimiento de sus estudiantes e incorporarlo a los procesos de enseñanza; establecer propósitos de enseñanza y; traer el contexto de la Biotecnología a las clases, relaciones que en todos los casos tienen una baja frecuencia, y que son de complejidad intermedia, a excepción de la relación Estrategias a Contexto, que tiene complejidad de referencia, dado, como ya señalamos, al uso que Alejandra declara hacer de las estrategias de enseñanza para abordar elementos contextuales de la Biotecnología, en términos de los saberes culturales e indígenas del país, y desde allí desarrollar contenidos tópicos específicos relacionados con los microorganismos, por ejemplo.

#### **4.1.3.4.3 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza**

A través de sus respuestas a las preguntas del cuestionario ReCo Alejandra mencionó varios propósitos de enseñanza, los cuales presentamos a continuación.

Desde nuestra interpretación, en su respuesta a la pregunta 1 Alejandra manifiesta como propósito articular los contenidos de enseñanza con los proyectos de vida de los estudiantes, en cuanto a su formación profesional o como opción laboral.

En este sentido, expresa que cuando enseña Biotecnología pretende mostrar a los estudiantes conocimientos que no se ven normalmente en áreas como Química, Biología y Sociales y que esos conocimientos entren a formar parte de su proyecto de vida en algún momento.

En su respuesta, como podemos ver en el siguiente fragmento, Alejandra señala que los conocimientos a los que se refiere tienen que ver con carreras profesionales relacionadas con la Biotecnología y que tienen que ver con muchas de las habilidades de los estudiantes, quienes las desconocen porque nadie se las muestra; reiterando que lo que pretende cuando enseña Biotecnología es mostrarles otro mundo que existe alrededor del conocimiento y alrededor de la formación profesional y personal.

*“[...] normalmente los chicos cuando salen de los colegios tienen como temporadas y como modas, ¿no?, entonces, generalmente estudian Derecho, o les da por estudiar Medicina, sí, carreras muy tradicionales, y resulta que en la Biotecnología hay otro tipo de carreras, hay otro tipo de formación, que están relacionadas con muchas de sus habilidades, ¿cierto?, pero como nadie se las muestra, como nadie les enseña, como nadie les permite, pues para ellos es más difícil encontrar ese tipo de cosas, entonces, aquí cuando se les enseña Biotecnología, pues yo pretendo mostrar otro mundo que existe alrededor del conocimiento y alrededor de la formación profesional como personal...” (P1.P1).*

Alejandra menciona entonces como ejemplos de proyectos de vida, estudiantes que se han puesto a hacer helados o a cultivar aplicando la Biotecnología aprendida, o que ven la posibilidad de estudiar carreras como Genética, Bioquímica o Química farmacéutica, las cuales, según ella, son carreras a las que los estudiantes no suelen acceder por no contar con una formación desde el colegio.

Lo anterior, tiene relación, con la respuesta que da a la pregunta 8, en la que, cuando preguntamos ¿Por qué es importante que sus estudiantes conozcan de Biotecnología?, menciona propósitos de enseñanza estrechamente relacionados con los objetivos planteados en el proyecto marco del énfasis en Biotecnología del colegio.

Es así como, Alejandra plantea que los estudiantes puedan obtener un mejor puntaje en el examen ICSES<sup>14</sup>, posibilitar la entrada de los estudiantes a carreras profesionales relacionadas

---

<sup>14</sup> En Colombia, antes de obtener el título de bachiller, los estudiantes presentan un examen conocido popularmente como examen ICSES, cuyos resultados son utilizados por universidades privadas y públicas como criterio de admisión.

con la Biotecnología y posibilitar el emprendimiento (poner un negocio) a partir de la realización del proyecto de investigación, como podemos notar a continuación:

*“Por varias razones [es importante que los estudiantes aprendan Biotecnología]. La primera, por conocimiento personal, muchas de esas cosas las preguntan en el ICFES, entonces, ahí, por ese simple hecho de obtener un mejor puntaje. La otra porque muchos de ellos buscan profesionalizarse o buscan unas carreras que tengan que ver con eso. La tercera porque quien no tiene la oportunidad, por lo menos mire en el SENA, hay carreras que están relacionadas y que les gusta, y la posibilidad de emprender un negocio, o sea que el proyecto de investigación no se quede solamente en proyecto de investigación, sino que vaya de pronto más allá. Si yo no puedo ir a una universidad inicialmente, pues miro como poner un negocio que me sirva, que yo produzca, que tenga como defenderme para poder ir a la universidad, sí, entonces pues eso es lo que se pretende con esto” (P1.P8).*

De lo que interpretamos, cuando Alejandra se refiere al conocimiento personal de sus estudiantes, se está refiriendo al conocimiento que asume, necesitan o para ingresar a la universidad y estudiar carreras que tengan que ver con la Biotecnología, o para plantearse opciones laborales relacionadas con sus proyectos de investigación escolar desarrollados durante el énfasis en Biotecnología, a través de los cuales generar ingresos que luego les permitan ingresar a la universidad.

En este sentido, adicionalmente, durante su respuesta a la pregunta 9, Alejandra manifiesta explícitamente que para ella el principal propósito de la enseñanza de la Biotecnología es que los estudiantes tengan otras opciones como proyecto de vida, lo que implica que descubran que tienen otras habilidades, que pueden tener otro tipo de conocimiento y otro tipo de proyección, diferente a lo que denomina como normal.

Finalmente, pero no menos importante, cabe resaltar que en su respuesta a la pregunta 2 Alejandra también señala que lo que intenta que los estudiantes aprendan sobre Biotecnología tiene que ver con el rescate del conocimiento ancestral y el conocimiento indígena que se asocia a aplicaciones biotecnológicas en el sector salud, alimentario y agrícola.

Con lo que, a partir de todo lo que hemos señalado, podemos notar que los propósitos de enseñanza que plantea Alejandra están orientados al aprendizaje de contenidos biotecnológicos, en aras de que los estudiantes puedan, con dichos conocimientos, continuar su formación en la educación superior; bien sea a través de su ingreso a carreras profesionales (en universidades) o, a carreras técnicas o tecnológicas (en el SENA – Servicio Nacional de Aprendizaje) o; al campo laboral, a través de la continuidad de sus proyectos de investigación escolar. Lo anterior conlleva a que la complejidad de las relaciones que establece el componente Propósitos de enseñanza con los demás componentes, sean de complejidad promedio intermedia (Figura 13), debido a

que, según lo que evidenciamos, prima el interés por la adquisición de habilidades y competencias laborales o de emprendimiento en el campo de la Biotecnología.

Cabe señalar, que en el caso de la relación Propósitos a Contenidos, una de las tres relaciones de este tipo, tiene complejidad de referencia, aquella en la que Alejandra menciona que su intención es rescatar los conocimientos ancestral e indígena asociados a aplicaciones biotecnológicas en el sector salud, alimentario y agrícola, con lo que, asumimos, integra contenidos epistemológicos a sus propósitos de enseñanza, sin embargo, dado que las otras dos relaciones son de complejidad intermedia, la complejidad promedio de este tipo de relación es intermedia también.

#### **4.1.3.4.4 Conocimiento sobre los estudiantes**

Como ya hemos señalado, en varias de sus respuestas Alejandra declara tener en cuenta su conocimiento sobre los estudiantes e incorporar dicho conocimiento a sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

En este orden de ideas, dentro de sus manifestaciones Alejandra da cuenta de su interés por el proyecto de vida de los estudiantes. Es así como durante la pregunta 1 manifiesta que cuando enseña Biotecnología pretende que los estudiantes vean conocimientos que no se ven normalmente en áreas como Química, Biología y Sociales y que esos conocimientos entren a formar parte de su proyecto de vida en algún momento.

En ese sentido, durante su respuesta a la segunda pregunta, Alejandra manifiesta su agrado al saber que muchos de sus estudiantes salen a estudiar Ingeniería Ambiental, y que tienen en cuenta, no solo conocimientos de la Química, sino también las aplicaciones en las que se incorpora la Biotecnología, con lo que asocia los contenidos de enseñanza con los intereses profesionales de los estudiantes:

*“Entonces, chévere conocer y saber que muchos de ellos salen a estudiar Ingeniería Ambiental, Ingeniería Ambiental aplicada a alguna cuestión, teniendo en cuenta no solo la parte de Química Sintética, sino también mirando la otra aplicación que es la parte biotecnológica...” (P1.P2).*

De igual manera durante su respuesta a la pregunta 9, Alejandra plantea, como ya habíamos mencionado, que su principal propósito de enseñanza de la Biotecnología es que los estudiantes tengan otras opciones como proyecto de vida, lo que implica que descubran que tienen otras habilidades, que pueden tener otro tipo de conocimiento y otro tipo de proyección, lo que da cuenta de su conocimiento de las características de sus estudiantes y de su preocupación por influenciar sus proyectos de vida.



Así mismo, cabe señalar que en su respuesta a la pregunta 11, Alejandra tiene en cuenta su conocimiento sobre las características de sus estudiantes, esta vez respecto a la evaluación que realiza:

“[...] ¿qué se evalúa?, el gusto por hacer las cosas, ¿qué se evalúa?, su trabajo en equipo, ¿qué se evalúa?, eh, la proyección que tenga dentro de ese trabajo en equipo, reconociendo que sus habilidades y sus potencialidades son diferentes entre ellos” (P1.P11).

De esta manera, como podemos notar, Alejandra manifiesta que la evaluación que realiza incluye el reconocimiento por parte de los estudiantes de sus habilidades y potencialidades y que también permite que el estudiante sea consciente que tiene que aprender por él y para él.

De otra parte, Alejandra también expresa su reconocimiento de las ideas previas de los estudiantes respecto a la Biotecnología.

De esta manera, en su respuesta a la pregunta 3, señala que en ocasiones ubican en el énfasis en Biotecnología a estudiantes a los que inicialmente no les gusta, ya que creen que la Biotecnología es muy pesada, y la asocian al nivel de conocimiento de la Química o Matemáticas, por lo que busca mostrarles a los estudiantes que la Biotecnología y sus aplicaciones no se refieren solamente a conocimientos, sino que existen otro tipo de aplicaciones.

“Bueno, este año por ejemplo uno de los décimos tenía un chico que fue ubicado porque le tocó, entonces la dificultad con él es que no hubo inicialmente ese gusto por la materia, entonces toca como las novias, arreglarte y mirar como uno cautiva la atención del chico, bueno, finalmente aceptó que estaba en Biotecnología, cambió un poquito de actitud y empezó a participar, pero esa es una de las dificultades que se tiene, que de pronto los chicos tienen la Biotecnología como algo muy pesado, como algo de conocimiento demasiado fuerte, como lo tienen Química o Matemáticas, y sí, es un conocimiento, pero es mostrarles a ellos otra cara de ese tipo de aplicaciones” (P2.P3).

En ese orden de ideas, Alejandra manifiesta conocer algunas de las razones por las que a los estudiantes no les gusta la Biotecnología, las cuales asociamos a ideas previas de los estudiantes respecto de la Biotecnología, y hacer uso de ese conocimiento para motivar a los estudiantes y llevarlos a generar actitudes positivas hacia su aprendizaje.

Respecto a las ideas y conocimientos previos sobre la Biotecnología, en su respuesta a la pregunta 4 Alejandra señala, además, que algunas de las ideas de sus estudiantes sobre la Biotecnología son, que es algo aburrido, que está relacionada con la Química y con la Biología, que es pesada, que es muy moderna y que está muy lejos de ellos, pero que cuando empiezan a hacer prácticas de fermentación los estudiantes ven que la Biotecnología está a su alcance y que no es difícil.

Más adelante en su respuesta, Alejandra manifiesta, que a los estudiantes les intriga el término Biotecnología, y que a raíz de una entrevista que le hicieron a una niña, encontraron que los estudiantes no tienen una definición de Biotecnología, pero si mucha inquietud al respecto:

*“Si les intriga qué es, porque hace poco hicimos un trabajo y la niña a la que le hicimos la entrevista comentaba eso, comentaba que, pues era muy difícil, antes de empezar a mirar qué era eso de Biotecnología, no tenía nada definido, eso fue en la oficina de la rectora, en una entrevista que les hicieron a los niños, no tenían en su cabeza nada definido, no había una definición de Biotecnología y había mucha inquietud acerca de qué era Biotecnología”*

En su respuesta a la pregunta 5 Alejandra manifiesta explícitamente la importancia de partir de lo que los estudiantes saben, por lo que dice acudir a estrategias orientadas a indagar por prácticas de la Biotecnología tradicional que se desarrollan de manera cotidiana en las plazas de mercado. Señala que estas estrategias posibilitan que los estudiantes descubran ese tipo de prácticas, lo que finalmente le permite abordar contenidos de como la clasificación de los microorganismos, la utilidad de los microorganismos y el funcionamiento de las células.

*“Yo pienso que uno tiene que partir de lo que los muchachos saben, entonces, inicialmente, yo trato de ubicar una práctica, donde él vaya y haga una entrevista o haga un video, o haga alguna herramienta, averiguando por ejemplo en la plaza cómo mantienen los alimentos si no hay nevera...”* (P2.P5).

En este sentido, Alejandra en su respuesta a la pregunta 6 también manifiesta tener en cuenta el conocimiento previo de los estudiantes para luego profundizar en temas relacionados con la investigación biotecnológica, haciendo referencia a los siguientes temas: investigaciones a nivel de genética, entre las que cita la clonación; aplicaciones de la Biotecnología en la salud; los retrovirus; la relación entre virus y ADN; la manipulación del ADN; la relación de la manipulación del ADN y la obtención de medicinas y; los procesos de duplicación del ADN, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de su respuesta:

*“[...] pues si ya tú tienes y ya hay una conexión entre la vida real, el conocimiento previo y el conocimiento científico, entonces ya es hora de que nos empecemos a montar con esas tres cosas en el bus de la investigación, entonces, normalmente después de todo eso, que eso es como primer semestre, primero y segundo semestre, más o menos, empezamos a mirar toda la parte de investigación biotecnológica...”* (P2.P6).

De todo lo anterior podemos notar que desde lo que declara, Alejandra hace uso de su conocimiento sobre los estudiantes, componente que establece relaciones con cuatro de los otros cinco componentes (Contenidos, Estrategias, Propósitos y Evaluación), lo cual, nos permite interpretar que es un componente que juega un papel importante en la articulación del CDC declarativo de Alejandra.

Como podemos observar, además, la relación Conocimiento de los estudiantes a Contenidos, tiene una complejidad de referencia (Figura 12), dado que, Alejandra dice reconocer que los estudiantes tienen ideas y conocimientos previos acerca de la Biotecnología, por ejemplo, sobre la definición y sobre los campos del conocimiento implicados, los cuales, junto a sus intereses, son un referente continuo del proceso de enseñanza, de forma tal que Alejandra no busca sustituir tales conocimientos por los que pretende enseñar, sino la evolución y el enriquecimiento de sus ideas.

Las demás relaciones tienen complejidad intermedia, en la medida que Alejandra declara conocer las habilidades, potencialidades e intereses de sus estudiantes, lo que la lleva a motivarlos a encaminar su educación superior en carreras profesionales o técnicas relacionadas con los conocimientos biotecnológicos que han adquirido en la escuela, o a darle continuidad en el campo laboral a los proyectos de investigación escolar, desarrollados como requisito del énfasis en Biotecnología, pero no al cuestionamiento de las aplicaciones biotecnológicas desde una perspectiva crítica.

#### **4.1.3.4.5 Conocimiento sobre el contexto**

A través de sus declaraciones, Alejandra nos permite notar la incorporación que hace de su conocimiento sobre el contexto en los procesos de enseñanza de la Biotecnología que dice desarrollar.

Así, en su respuesta a la pregunta 2, como ya señalamos, Alejandra se refiere a las terrazas de cultivo como una estrategia que le permite asociar las aplicaciones biotecnológicas de la agricultura orgánica con el contexto cotidiano de los estudiantes y la comunidad escolar en general, lo anterior cuando hace mención a la siembra de hortalizas de consumo cotidiano como la lechuga, el tomate y los pepinos, con las que dice, se prepara una ensalada, estrategia que conlleva a que los estudiantes de bachillerato compartan sus conocimientos con los niños de primaria, y que cuenta, hoy en día no lleva a cabo por cambios en la infraestructura de la institución escolar.

Durante esta respuesta también aparece el contexto cultural de la agricultura orgánica, en primera instancia cuando Alejandra hace mención al consumo de ensalada, componente fundamental de la dieta colombiana, y también, cuando habla de investigaciones llevadas a cabo en la Guajira y que tienen que ver con el manejo del agua y la agricultura orgánica, las cuales interpretamos, se refieren a la relación entre la seguridad alimentaria y las prácticas de agricultura orgánica que se llevan a cabo en nuestro país y que Alejandra refiere desde su conocimiento al respecto en el departamento de la Guajira.

En este sentido, en su respuesta a la pregunta 5 Alejandra menciona que acude a estrategias que posibilitan a los estudiantes acercarse a las prácticas biotecnológicas que se desarrollan en una plaza de mercado, de esta manera, desde nuestra interpretación, la profesora acude al contexto, tanto cultural, como cotidiano, para luego abordar y profundizar ciertos contenidos de enseñanza.

Por su parte, en su respuesta a la pregunta 6, Alejandra hace referencia a la relación contexto cotidiano, conocimientos previos, conocimiento científico y contexto de la investigación en Biotecnología. Así, cuando responde a la pregunta relacionada con lo que intenta que aprendan sus estudiantes señala:

“La parte de descubrimiento, la parte de investigación, sí, además de todo eso, pues si ya tú tienes y ya hay una conexión entre la vida real, el conocimiento previo y el conocimiento científico, entonces ya es hora de que nos empecemos a montar con esas tres cosas en el bus de la investigación...” (P1.P6).

La profesora explicita la importancia de establecer relaciones entre el contexto cotidiano (a lo que llama vida real), los conocimientos previos de los estudiantes y el conocimiento científico durante sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

De otra parte, en sus repuestas, también notamos que Alejandra hace referencia al contexto de la Biotecnología a nivel nacional, así, durante su respuesta a la pregunta 4, menciona que les muestra a sus estudiantes que en Colombia existen institutos de Biotecnología, donde se realiza investigación acerca de enfermedades como el cáncer y el Alzheimer.

En este sentido, a través de su respuesta a la pregunta 13, Alejandra también se refiere al contexto de las aplicaciones biotecnológicas en el sector salud colombiano. De esta manera, manifiesta que los aspectos sociales que tiene en cuenta cuando enseña Biotecnología tienen que ver con la influencia que a nivel económico y a nivel social tienen los medicamentos biotecnológicos en las personas, en cuanto a que hoy en día esos tratamientos han llegado a personas de bajos recursos, lo que señala, constituye un cambio social. Así, la profesora acude al contexto de las aplicaciones biotecnológicas en el sector salud colombiano para enseñar a los estudiantes contenidos relacionados con el aspecto sociológico de la Naturaleza de la Biotecnología.

Adicionalmente, en su respuesta a la pregunta 12, Alejandra se refiere a situaciones relacionadas con la producción de medicamentos biotecnológicos. Como hemos señalado previamente, en esta respuesta la profesora dice que les cuenta a sus estudiantes acerca de algunas empresas biotecnológicas que tienen las licencias de ciertos medicamentos, situación que le permite relacionar contenidos asociados al ADN con la influencia de la Biotecnología en la medicina.

De lo anterior podemos observar que a pesar que el componente Contexto es uno de los componentes minoritarios del CDC declarativo de Alejandra y que solamente se relaciona con los componentes Estrategias y Contenidos, este componente juega un papel importante en el CDC declarativo de Alejandra, en tanto le permite plantear estrategias encaminadas a contextualizar la Biotecnología de diferentes maneras y así mismo, contextualizar la enseñanza de contenidos asociados a la Biotecnología.

Así, notamos que la relación Estrategias a Contexto se encuentra en el rango bajo de frecuencia (Tabla 15), pero que su complejidad es de referencia (Figura 12), ya que Alejandra plantea el uso de su conocimiento sobre el contexto, desde una perspectiva sociocrítica, en la idea de emplear estrategias que le permitan presentar a los estudiantes situaciones relacionadas con las implicaciones de la Biotecnología en diferentes sistemas de la sociedad.

En el caso de la relación Contexto a Contenidos, podemos observar que se encuentra en el rango de alta frecuencia y que su complejidad promedio es de referencia (Tabla 15), debido, principalmente a que Alejandra dice acudir a situaciones, tanto del contexto cotidiano y cultural, como del contexto nacional, que posibilitan a los estudiantes dar significado a los contenidos abordados y entender las implicaciones de la Biotecnología en la sociedad, entre ellas la influencia de la Biotecnología en la medicina y el sector salud.

#### **4.1.3.4.6 Conocimiento sobre la evaluación**

En cuanto al conocimiento de Alejandra sobre las formas de evaluar, encontramos que declara hacer uso de diferentes estrategias evaluativas. Así, Alejandra, en su respuesta a la pregunta 7, manifiesta incorporar las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) a sus estrategias de evaluación. En este sentido cuenta que han trabajado la metodología *flipped classroom* en el abordaje de contenidos asociados a las proteínas, por lo que, pone links de videos sobre proteínas en el grupo del Facebook para que los estudiantes los puedan observar desde la casa y puedan luego resolver la evaluación, con lo que Alejandra se refiere al uso de evaluaciones virtuales, en las que los estudiantes hacen uso de internet.

Dentro de su respuesta a la pregunta 10, Alejandra señala que hay varias actividades que le permiten evaluar, entre ellas, el presentar un video, el hablar en público, el tener una charla o debatir las ideas de otra persona, desde la parte científica y desde la parte tecnológica, la participación en el grupo del Facebook y en el blog, la construcción y edición de videos, estrategias que le permiten notar la variación en el proceso del estudiante y así, evaluar los conocimientos de los chicos.

*“¿Cómo se evalúa?, pues hay un montón de actividades que me permiten evaluar, por ejemplo, el presentar el video, el hablar en público, en eso se nota la variación, el tener una charla o un debate, el hacer un debate, el trabajar en un debate, el mirar cómo debato yo las ideas de otra persona, eh, desde la parte científica y desde la parte tecnológica, entonces eso me permite que durante todo ese proceso yo logre evaluar los conocimientos de los chicos. No es que no sea importante la evaluación escrita, porque yo pienso que eso sólo me mira la memoria, y en la memoria hoy lo tengo, mañana se me olvida, entonces, la participación por ejemplo en los grupos, la participación en el grupo que tenemos en Facebook, la participación en el blog, el construir el video él mismo, el editarlo, ese tipo de actividades me permiten realizar la evaluación”* (P1.P10).

De manera adicional, explícitamente manifiesta que no emplea la evaluación escrita, porque con esa forma de evaluación solamente puede evaluar la memoria de los estudiantes, adicionalmente manifiesta:

*“Bueno, yo considero que la evaluación que se hace hasta ahora de repetir conocimiento ha hecho que nosotros le cojamos fastidio a muchas cosas, fastidio a la Matemática, fastidio a la Física, fastidio a un montón de situaciones, entonces, pienso yo que la evaluación de esos aprendizajes en Biotecnología, utilizando un montón de estrategias que no necesariamente son evaluaciones y repetir, o ejercicios y repetir, si ha hecho que él muestre, o sea, que sea consciente que tiene que aprender por él y para él”* (P1.P11).

En cuanto a las formas de evaluar los aprendizajes de Biotecnología Alejandra expresa que evalúa el maestro y los estudiantes a sus compañeros y a ellos mismos, con lo que hace referencia a procesos de heteroevaluación, coevaluación y autoevaluación, refiriéndose además a una evaluación flexible, en la que se flexibilizan los tiempos para la presentación de trabajos y actividades, con lo que al mismo tiempo se refiere a su conocimiento sobre los momentos y la finalidad de la evaluación:

*“Pues evalúa el maestro, evalúan los compañeros y se evalúan ellos mismos. Entonces, listo, es que me quedó esto mal, profe, deme más tiempo, listo, ¿por qué te quedó mal?, entonces, si él es consciente, esa es su autoevaluación, entonces, no hay como ese sesgo, de que usted no lo hizo, 1.0 y ya, no, es una evaluación flexible”* (P1.P10).

De la misma manera, Alejandra manifiesta que la evaluación que desarrolla es un proceso, dado que lo que se evalúa es el proceso del estudiante y que lo que se evalúa corresponde al gusto por hacer las cosas, su trabajo en equipo, la proyección dentro de ese trabajo en equipo, reconociendo que sus habilidades y sus potencialidades son diferentes a las de los demás. Con lo que señala que el proceso corresponde al cambio que el estudiante tiene desde el comienzo hasta el final, en términos de conocimientos, de actitudes y habilidades.

También señala que está evaluando todo el tiempo, incluso cuando los estudiantes están en su casa, ya que a veces publica información en la noche, y les solicita a los estudiantes que la lean porque al otro día va a preguntar, lo que se constituye en una actividad que le permite evaluar el interés de los estudiantes. Con lo que durante su respuesta da cuenta de la evaluación de contenidos procedimentales y actitudinales.

La descripción anterior nos permite notar que en solo algunas de las respuestas Alejandra se expresa respecto a su conocimiento sobre la evaluación, de lo que deriva, que este sea el componente de su CDC declarativo que menos relaciones establece con los demás.

Adicionalmente, podemos observar, de acuerdo al mapa construido (Figura 12) y a la tabla 15, que la complejidad de las tres clases de relaciones del componente evaluación (con los componentes Contenidos, Estrategias y Conocimiento de los estudiantes) es intermedia, dado que aunque Alejandra dice utilizar mecanismos de autoevaluación y coevaluación, y se refiere a una evaluación procesual, principalmente hace mención a la evaluación de contenidos actitudinales y destrezas y habilidades de los estudiantes, que en la mayoría de los casos no son tópicos específicos, y en algunos casos a contenidos conceptuales, con lo que prima una evaluación de contenidos asociados a la formación integral de los estudiantes. De otra parte, no evidenciamos referencia a la evaluación de ella como docente o de su planeación.

## **4.2 REFERENTES DE LA PROFESORA ALEJANDRA SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA**

Durante el desarrollo de la tesis construimos un instrumento con el que buscamos indagar, explicitar, reflexionar y discutir acerca del Conocimiento de los profesores investigados sobre la Biotecnología (Anexo 2). El instrumento fue aplicado a manera de entrevista semiestructurada, y sistematizado de acuerdo a lo descrito en el capítulo de metodología (ver numeral 3.4.2).

A continuación, presentamos nuestra interpretación acerca de los conocimientos de la profesora Alejandra sobre la Biotecnología, teniendo en cuenta cada una de las categorías del conocimiento sobre la Biotecnología establecidas durante el transcurso de la tesis.

### **4.3.1 Conocimiento de la profesora Alejandra sobre la Naturaleza de la Biotecnología**

El análisis de contenido de las respuestas de la entrevista semiestructurada, así como su posterior interpretación y triangulación nos permiten señalar los siguientes aspectos referidos al conocimiento de la profesora en relación con las subcategorías de la categoría conocimiento sobre la naturaleza de la Biotecnología.

#### 4.3.1.1 Aspectos epistemológicos de la Biotecnología

Para Alejandra la Biotecnología es una *ciencia*, estatus epistemológico que sostiene durante el transcurso de toda la entrevista a través de diferentes argumentos.

Es así como, en su respuesta a la pregunta que indaga por el estatus epistemológico de la Biotecnología, manifiesta que es una ciencia ya que tiene un conocimiento propio, un desarrollo histórico y su propia caracterización.

Durante su respuesta también señala, como podemos ver en el siguiente fragmento, que la Biotecnología es una ciencia que tiene un cúmulo de conocimiento de otras ciencias, por lo que es como el puente de enlace entre varias ciencias, entre ellas la Microbiología, la Biología y la Química, mencionando además la tecnología.

*“[...] Ehhh, pues para mí es una ciencia, es una ciencia que tiene un cúmulo de conocimiento de otras ciencias, entonces es como el puente de enlace entre varias ciencias, ¿sí?, por qué digo yo que entre varias ciencias, porque tú debes saber de Microbiología, debes saber de tecnología, debes saber de Biología, debes saber de Química, no necesariamente tienes que ser un sabio en todas estas áreas, no” (P1.P1).*

Adicionalmente, y cuando es interpelada respecto a la autonomía de las ciencias, Alejandra indica:

*“[...] que haya hitos que se crean, o sucesos que se crean que son única y exclusivamente de X o Y ciencia, pienso yo que en el trasfondo no es tan cierto eso, ehh, porque igual hay cosas que sí han influido para que se llegue a ese suceso o a ese hito, influenciados por otros saberes, ehh, que sean empíricos, o que sean estudiados, como se les quiera llamar, entonces para mí, la autonomía, el concepto de autonomía es relativo para todas las ciencias, para mí. Igual sigo pensando que la Biotecnología es una ciencia que ha sido alimentada, y bebe de otras ciencias. Que tiene sus propios sucesos, sí, ehh, hay cosas que son propias de la Biotecnología, pero vuelvo y repito, no podemos alejarnos de que están alimentadas por otras cosas” (P1.P4).*

Con lo que reitera que para ella la Biotecnología es una ciencia que no necesita ser autónoma, porque el concepto de autonomía es relativo para todas las ciencias, incluyendo la Biotecnología, insistiendo además en que la Biotecnología es una ciencia que a pesar que ha sido alimentada de otras ciencias tiene sus propios sucesos.

Lo anterior da cuenta de una perspectiva interdisciplinar en cuanto a la Biotecnología, así, podemos decir que cuando Alejandra señala que no hay conocimientos exclusivos de una ciencia, hace mención a la naturaleza de la ciencia y al mismo tiempo a la naturaleza interdisciplinar de la Biotecnología.



Este señalamiento es coherente con lo que Alejandra ha venido defendiendo acerca de la Biotecnología, en cuanto a que no es autónoma. Cabe señalar también en sus respuestas se centra en que son la Biología, la Química y la Bioquímica las ciencias que fundamentalmente aportan a la Biotecnología, lo que es coherente con sus respuestas anteriores respecto a la relación que sostienen la Biología y la Biotecnología, según la cual, la Biotecnología necesita de la Biología. Adicionalmente, cabe señalar que para Alejandra la tecnología también hace parte de los distintos saberes que conforman el conocimiento biotecnológico.

Desde nuestra interpretación, la analogía del puente a la que Alejandra se refiere en su respuesta a la primera pregunta, puede representar que, para Alejandra, la Biotecnología es una ciencia, que permite que otras ciencias se relacionen entre sí a través de la generación de conocimientos biotecnológicos, con lo que, al mismo tiempo, de manera implícita hace referencia al carácter interdisciplinar de la Biotecnología.

A este respecto, más adelante y durante la respuesta a la misma pregunta, Alejandra expresa que la Biotecnología está enriquecida con el saber de otras ciencias y, acudiendo a la analogía de un vestido de colores señala que la Biotecnología tiene en su vestido el color de la Microbiología, el color de la Biología, el color de la tecnología, pero que tiene su propia caracterización como ciencia, con lo que reitera su posición en cuanto a la naturaleza interdisciplinar de la Biotecnología, respecto a que en el desarrollo del conocimiento biotecnológico es necesario el saber de otras disciplinas:

*“Y es una ciencia porque tiene su propio conocimiento y su propio saber, tiene un desarrollo histórico. Yo considero que todas esas cosas hacen que ella tenga su propia caracterización. Ehh, que si tenga en su vestido, eh, digamos el color de la Microbiología, que en su vestido tenga el color de la Biología, que en su vestido tenga el color de la tecnología, pero tiene sus propias, su propia caracterización. Entonces para mí es una ciencia que está enriquecida con el saber de otras ciencias pero tiene su propia caracterización”* (P1.P1).

De otra parte, cabe señalar que para Alejandra el desarrollo del conocimiento biotecnológico requiere la participación de profesionales de diferentes áreas, entre ellos los economistas, siempre y cuando *“sepan de Biotecnología, pues para saber a dónde van a ir a colocar el dinero, a quienes van a apoyar en sus centros de investigación, qué tipo de centro biotecnológico van a abrir”* (P1.P6.6). En esta misma respuesta Alejandra también se refiere a la posibilidad de que médicos, botánicos, biólogos, entomólogos, patólogos participen en el desarrollo de investigaciones biotecnológicas y en ese sentido señala que para ella: *“sí debe haber como la integración de varios profesionales en el desarrollo real y valedero de un proyecto de Biotecnología”*(P1.P6.6), con lo que lo que deja ver que para ella, como ya habíamos mencionado, la Biotecnología es interdisciplinar, y por tanto en la producción del conocimiento biotecnológico intervienen diferentes profesionales.

De otra parte, varias de las respuestas a las preguntas del instrumento dan cuenta de señalamientos que la profesora hace respecto al objeto de la Biotecnología.

De esta manera, a partir de sus respuestas podemos evidenciar que para Alejandra una característica de la Biotecnología es la participación de procesos biológicos, desarrollados por seres vivos, en la obtención de los productos. En este orden de ideas, para ella, el pan sí es un producto biotecnológico porque durante su producción la levadura lleva a cabo el proceso biológico de la fermentación de los carbohidratos presentes en la harina con la que se fabrica:

*“[...] porque si yo miro es un proceso de fermentación que lo producen unos organismos vivos que es la levadura. O sea, ellos, ehh, el pan sería el producto de ese proceso biológico que se realiza a través de los carbohidratos y de la fermentación de esas harinas ¿no? Yo pienso que sí, para mí es un producto biotecnológico...” (P1.P3.1).*

Argumentos similares a los que da cuando se le pregunta por los hechos o acontecimientos que hacen parte de la Biotecnología. En este caso Alejandra vuelve a señalar que para ella la Biotecnología es una ciencia que necesita del conocimiento de la Biología, ya que, para obtener productos biotecnológicos como el queso, es fundamental comprender los procesos biológicos implicados.

A pesar que en estos casos el objeto de la Biotecnología está más centrado en la intervención de procesos biológicos que en la producción, su respuesta a la pregunta sobre las técnicas cristalográficas para determinar la estructura de las proteínas, permite notar que ella también asocia la Biotecnología con la obtención de un producto. En este sentido, Alejandra señala que las técnicas cristalográficas no son procesos biotecnológicos ya que son equivalentes a técnicas de identificación, mientras que la elaboración de pan sí, ya que se mezclan varias cosas para obtener un producto diferente.

En otra de sus respuestas Alejandra manifiesta que la Biotecnología es una ciencia que incluye el manejo de los principios de vida, y que de ese manejo surge la posibilidad de contribuir a la fertilización *in vitro*; lo que nos deja interpretar que la profesora reconoce la manipulación de lo vivo como elemento del objeto de la Biotecnología.

En este orden de ideas, a partir de la siguiente declaración:

*“[...] pero sí la manipulación genética, sí toda manipulación genética, pienso yo, que igual aporta de una u otra manera para que lleguemos a obtener procesos biotecnológicos. Sin esa manipulación genética, sin esa, sin ese aislamiento genético por ejemplo, no hubiésemos podido identificar, ehhh, las secuencias y la identificación de esas secuencias no nos habrían llevado a sintetizar, o a mirar de qué manera puedo yo a través de otros procesos ehhh, obtener eso, ahora si yo voy a mirar, nos enseñaban que si la manipulación genética por PCR, vuelvo nuevamente a*

*lo mismo, generalmente se hace como técnica para llegar a obtener un producto biotecnológico, o sea es una técnica para llegar a eso, pero sí, aunque toda manipulación genética no es Biotecnología, sí la manipulación genética me ha llevado a obtener productos biotecnológicos*” (P1.P3.4).

Podemos interpretar que, aunque para Alejandra no toda manipulación genética es objeto de la Biotecnología, la obtención de algunos productos biotecnológicos conlleva una manipulación de genes, lo que necesariamente implica la manipulación de lo vivo.

Cabe resaltar que en esta misma respuesta la profesora se refiere a dos ejemplos de modificación genética a través de técnicas de ADN recombinante, la modificación de una mosca y la obtención de un medicamento llamado Humira, con lo que nuevamente se refiere a la manipulación de lo vivo como elemento del objeto de la Biotecnología, reiterando su relación con la obtención de un producto, lo que en últimas nos permite señalar que para Alejandra el objeto de la Biotecnología, incluye la producción, mediada por la manipulación de lo vivo.

En este sentido, Alejandra también menciona que la obtención de plantas resistentes a la sequía mediante cruzamiento sí es un proceso biotecnológico, en la medida en que a través del uso de organismos vivos se obtiene un resultado. Vale la pena señalar que en otra de sus respuestas hace referencia a los injertos de plantas como productos de la Biotecnología tradicional, respuestas con las que se refiere a la obtención de productos mediante el uso y/o manipulación de seres vivos.

En otra de sus respuestas Alejandra señala, como podemos ver en el siguiente fragmento, que para llegar a la producción sintética de hormonas se debe primero estudiar la organización de estas proteínas dentro de los seres vivos, lo que relacionamos con la incorporación y uso del conocimiento biológico dentro del objeto de la Biotecnología.

*“[...] Sí, pero para tú llegar a esa síntesis, yo pienso, para tú llegar a esa síntesis química necesitaste conocer la parte biológica y esa parte biológica es la vida, es algo de, es algo vivo, o sea, si tú, a ver, necesitabas saber cómo estaba organizada la proteína para que tú crezcas, cómo funciona y cómo debe ser el funcionamiento metabólico de esa proteína dentro de un organismo vivo para que se desarrolle un crecimiento normal, si no se hace un enano, o se hace un gigante extremado. Ahora sí, ya teniendo ese conocimiento biológico, metabólico y bioquímico, y todo lo que tú quieras, te vas al laboratorio y la sintetizas, la organizas”* (P1.P3.6).

El análisis del fragmento anterior nos permite interpretar que para Alejandra el conocimiento biológico hace parte del objeto de la Biotecnología, ya que, para ella, a pesar que la síntesis de hormonas no está mediada por un proceso biológico, el hecho de que haya un conocimiento biológico involucrado en la producción en mención le permite hablar de Biotecnología.

Esta posición es ratificada a través de la respuesta que da cuando se le pregunta si la fabricación de un corazón artificial corresponde a la Biotecnología:

*“[...] Lo consideraría como tecnología, pero vuelvo nuevamente, o sea yo lo considero tecnología, yo. Pura aplicación tecnológica, ¿sí?, pero para que tu llegues a esa aplicación tecnológica necesitaste la Biología y el funcionamiento de ese organismo, entonces pienso yo que está como en un límite entre si es o no es. Es tecnológico en el armar, en la parte mecánica, consideraría que es biotecnológico si yo lo miro desde atrás, de mirar toda la investigación que se hizo desde la Biología para llegar allá” (P1.P3.9).*

Como podemos notar, en este caso, al igual que en el caso de la producción sintética de hormonas, Alejandra señala que para que un proceso sea considerado biotecnológico una condición importante es que haya aportes de investigaciones biológicas, con lo que reitera que el conocimiento biológico hace parte del objeto de la Biotecnología. La respuesta de Alejandra nos permite inferir también que para ella en la Biotecnología existen relaciones entre el conocimiento científico (de la Biología) y el conocimiento tecnológico, aunque, se le dificulta establecer límites entre el objeto de la Biotecnología y el objeto de la Biología.

Respecto a la organización discursiva de la Biotecnología, Alejandra manifiesta, como lo podemos ver en el siguiente fragmento de una de sus respuestas que existen leyes de la Física, la Química y la Biología, que son aplicables a la Biotecnología, pero que no existen leyes que sean exclusivas de la Biotecnología.

*“[...] Yo sinceramente no he encontrado hasta ahora un documento, en Química sí, en Química tu buscas, las leyes de la Química, leyes fundamentales de la Química y uno las encuentra, tú haces el mismo recorrido, leyes fundamentales de la Biotecnología, no las hay, como propias de la Biotecnología, las hay de pronto relacionadas con la Biología, relacionadas con la Química, relacionadas con la Bioquímica, relacionadas con la Genética, ¿sí? es como una mezcla [...] Yo siento que debería tenerlos [Unas leyes y unos postulados propios] pero la gente se ha dedicado a hacer investigaciones alrededor de la Biotecnología, ¿sí?, pero no se han sentido como a revisar esa parte que es más una parte de escritura y de academia, de aclarar, de poner límites, en lo que yo he visto, en lo que yo he visto falta como eso” (P1.P6.1).*

Como podemos evidenciar, al interpelar a Alejandra por la característica de las ciencias de tener unas leyes y postulados propios, ella manifiesta que la Biotecnología si necesita leyes claras, argumentando que no las tiene porque los académicos no se han dedicado a hacer las respectivas aclaraciones ya que se han dedicado a hacer investigaciones. De lo anterior podemos interpretar que para Alejandra la Biotecnología no está maduramente configurada como una ciencia y que además ha centrado su interés en la investigación, orientada quizás hacia la obtención de productos biotecnológicos y no al establecimiento de teorías propias.

Respecto a la finalidad de la Biotecnología, notamos que, a través de sus respuestas, Alejandra manifiesta que la Biotecnología tiene muchas cosas favorables para que el hombre pueda mejorar su vida y su estilo de vida, lo cual asociamos a una finalidad de la Biotecnología. En este orden de ideas, en una de sus respuestas, Alejandra manifiesta:

*“[...] Pienso yo que esa es parte como del punto de diferencia entre una cosa y otra, eh, la Biotecnología, miro yo y veo yo que es diferente a la Química y diferente a la Biología porque tiene esa finalidad, de te puede servir como una herramienta para mejorar tu vida, para mejorar tus procesos, para mejorar tu ambiente, para mejorar eh en donde tu estas, para mejorar tu propio funcionamiento. Esa pienso yo que es la diferencia...” (P1.P3.4).*

Con lo que establece una característica particular de la Biotecnología, que la identifica de otras ciencias como la Química y la Biología: su finalidad es servir como una herramienta para mejorar la vida, los procesos, el ambiente y el funcionamiento propio de los seres humanos.

En este sentido, Alejandra también señala que la Biotecnología, a través del manejo de los principios de vida (lo cual, como hemos dicho, asociamos a la manipulación de lo vivo) contribuye a la reproducción asistida en los seres humanos, a partir de la fertilización *in vitro*. Adicionalmente manifiesta que hacer investigación alrededor de las células madre conlleva a mejorar la salud de las personas y a dar solución a algunos problemas relacionados con la genética. Así mismo, en otras de sus respuestas reitera como finalidad de la Biotecnología la contribución al bienestar del ser humano, al mencionar la relación entre la modificación genética y la obtención de productos biotecnológicos como medicamentos y hormonas que *“de una u otra manera le van a servir a alguien para mejorar algún proceso metabólico que no funciona bien en su organismo”* (P1.P3.6), con lo que semánticamente reitera que la finalidad de la Biotecnología es beneficiar al ser humano.

De esta manera, a pesar de la interpelación, en términos del utilitarismo como parte de la finalidad de la Biotecnología, la profesora sostiene que no se puede desconocer que, aunque tengan un fin utilitario, los productos biotecnológicos contribuyan al bienestar, sin hacer mayor discusión al respecto o sobre la rentabilidad económica de los productos como finalidad de la Biotecnología.

No obstante, vale la pena resaltar que Alejandra también expresa que mira la finalidad de la Biotecnología con sentido crítico. Así, cuando le preguntamos ¿Cuál es la finalidad de la Biotecnología?, ella contesta:

*“Para mí, mejorar la calidad de vida del ser humano. No importa la raza, pero sí mejorar la calidad de vida sin dañar su entorno. Eh, porque digo que sin dañar su entorno. Yo vuelvo e insisto, es peligroso por ejemplo lo de la clonación [...] Eh, a mí eso me asusta. Hay un video muy chévere que se llama La finca de Frankenstein que muestran como en Inglaterra quemar un lugar donde*

*hacen estudios con todos los animalitos y todo ese cuento. Entonces, alrededor de esos estudios hay modificaciones genéticas que se manifiestan de forma externa y hay otras que se manifiestan de forma interna. Cuando las manifestaciones son externas eso llama mucho la atención porque animales de dos cabezas, eh, de pronto eso de que le coloquen células para crecer orejas en el lomo de un ratón, eso se me hace súper atrevido, eh, aplicarle a un gatico genes para que sea fosforescente, no, no hay derecho, eso no lo concibo yo, solamente por demostrar que esa modificación genética se puede hacer, yo considero que ahí el ser humano se está equivocando [...] yo pensaría que ahí si juega mucho papel la parte moral y la parte ética, es ahí donde yo digo que el ser humano está jugando a ser Dios y se le olvida esa partecita” (P1.P9).*

Con lo anterior Alejandra sostiene su posición en cuanto a que el beneficio al ser humano hace parte de la finalidad de la Biotecnología, cuestionando a la vez a los investigadores, en términos de su moralidad y su ética, al señalar que el ser humano está jugando a ser Dios, olvidándose del beneficio de las investigaciones biotecnológicas.

El análisis interpretativo que hacemos de las respuestas de la profesora Alejandra nos permite señalar finalmente, que para ella la Biotecnología es una ciencia, ya que tiene un conocimiento propio, un desarrollo histórico y su propia caracterización. Alejandra sostiene además que la Biotecnología no es autónoma, ya que, aunque tiene unos sucesos propios, incorpora y necesita conocimientos de otras ciencias, haciendo referencia particularmente al conocimiento de la Biología para comprender los procesos biológicos implicados en la obtención de los productos biotecnológicos, pero también a otras ciencias como la Química y la Bioquímica, así como al conocimiento de la tecnología, con lo que denota el carácter fuertemente interdisciplinar que para ella tiene la Biotecnología. De otra parte, podemos decir que para Alejandra el objeto de la Biotecnología tiene que ver con la obtención de productos a través del uso y/o manipulación de seres vivos. Así, para ella, los productos biotecnológicos son aquellos obtenidos mediante la mediación de procesos biológicos, es decir a partir de la participación de procesos desarrollados por seres vivos como la fermentación, o de la manipulación de lo vivo, bien sea a través de técnicas modernas como las de la manipulación genética actual, o a través de técnicas tradicionales como los injertos de plantas para la obtención de plantas con características particulares. Respecto a la finalidad de la Biotecnología, nos permitimos señalar que para Alejandra dicha finalidad radica en servir como una herramienta para mejorar la vida, los procesos, el ambiente y el funcionamiento propio de los seres humanos, la cual, analiza desde un punto de vista crítico, al cuestionar a los investigadores, en términos de su moralidad y su ética.

#### **4.3.1.2 Aspectos históricos de la Biotecnología**

Son varias las respuestas de la profesora Alejandra, en las que se evidencia su conocimiento respecto de la historia de la Biotecnología. Así, Alejandra expresa que el pan es uno de los

productos biotecnológicos más antiguos, lo que da cuenta del reconocimiento de una tradición histórica del desarrollo de la Biotecnología, en la cual el pan se considera uno de los primeros productos biotecnológicos obtenidos por la humanidad, a pesar de no comprender los fenómenos científicos involucrados en su fabricación.

Como podemos notar en el siguiente fragmento de su respuesta a la pregunta 3.3, Alejandra también se refiere a los injertos como ejemplos de productos biotecnológicos que son obtenidos a través de técnicas de la Biotecnología tradicional, señalando claramente que los procesos biotecnológicos no surgen de la nada, sino que por lo contrario tienen una tradición histórica, refiriéndose a las prácticas tradicionales que hacen las abuelas en Colombia, las cuales pueden llevar a aplicaciones que permiten intervenir lo humano.

*“[...] ahora, si vamos al nivel de plantas, eh, pues de una u otra manera ese tipo de fertilización in vitro, trabajo in vitro con plantas dio como el origen o el pie para el desarrollo de la modificación genética de las plantas, ¿no? En la naturaleza a veces esos procesos se presentan de forma natural, y yo veo que por lo menos las abuelas lo hacían, sin tanto merequetenque, y sin tanta falacia y sin tanto laboratorio de Biotecnología, cogían el piecito de una rosa y lo pegaban a la otra y lo arreglaban de una u otra manera [...] entonces yo pienso que todas esas prácticas como los injertos dieron origen a que ya este tipo de trabajos se realizaran de una manera, digámoslo así más científica en los laboratorios y dieron origen a todo ese proceso de trabajo in vitro con plantas y a la fertilización in vitro en los seres humanos y en los animales”*(P1.P3.3).

La respuesta de la profesora nos permite interpretar que para ella los desarrollos biotecnológicos pueden lograrse desde lo empírico, de forma tal que los resultados así obtenidos pueden ser después mejorados en los laboratorios, lo que da cuenta de un proceso en el que puede suceder que primero se dé una fase empírica sin conocimiento científico y luego una fase experimental, desarrollada desde la ciencia. Esta respuesta también nos permite señalar que para Alejandra existe relación entre los saberes tradicionales y las prácticas biotecnológicas.

Continuando con nuestro análisis, nos detendremos en la respuesta de la profesora a la pregunta 4, en la que le solicitamos que enumerara en orden cronológico los hechos o sucesos más importantes en la historia de la Biotecnología.

De acuerdo con Alejandra, los orígenes de la Biotecnología se remontan a la prehistoria, con la obtención de productos como la cerveza, el queso y el pan, los cuales fueron producidos sin conocimiento sobre los microorganismos participantes o las reacciones químicas involucradas. También señala que en la antigüedad los seres humanos fabricaron tales productos a partir de la imitación de procesos, pero que con el paso del tiempo llegaron a estudiar los fenómenos implicados, lo cual constituye un paso fundamental en la historia de la Biotecnología.

Una segunda parte de sucesos importantes que según la profesora conforman la historia de la Biotecnología está asociada a descubrimientos e invenciones del siglo XVIII y XIX que tienen que ver con conocimiento de la Biología sobre los microorganismos. De esta manera, la profesora se refiere a la invención del microscopio por Robert Hooke y Antoine Van Leewonhoek y a los experimentos de Pasteur y de Lázaro Spallanzanni relacionados con el descubrimiento de las bacterias, la pasteurización y la refutación de la teoría de la generación espontánea, lo que para ella fue el fermento de la Biotecnología, que finalmente serviría para que siglos más adelante se estudiara la influencia de los seres vivos en el desarrollo del ser humano.

El último suceso importante en relación con la historia de la Biotecnología que Alejandra menciona corresponde al descubrimiento del ADN.

Durante su respuesta, Alejandra reitera que para ella esos serían los tres momentos más importantes de la historia de la Biotecnología, señalando textualmente:

*“[...] O sea, uniendo esas tres cosas como en una línea en la historia, no porque lo otro no valga, no claro, hay otros sucesos también importantes, pero para mí, a mi modo de ver, yo lo dividiría en ese tipo de situaciones, una prehistoria, que es todo lo de los griegos, babilonios, egipcios, eh, una parte histórica donde, como la parte, digámoslo así efervescente de la Biología, que fue todo lo de la, el descubrimiento del microscopio, lo de la generación espontánea, para mí es espectacular que el ser humano piense como pensaba en la generación espontánea me pareció fabuloso como Pasteur con todo su, con todos sus instrumentos vino a mostrar que no era cierto sin tener absolutamente nada de tecnología de la que tenemos hoy en día, eh, y lo del ADN, lo del ADN pienso yo que desencadenó un montón de sucesos, de conocimiento, de aplicaciones, y fue como el parto de la Biotecnología en un momento determinado” (P1.P4).*

Las respuestas de Alejandra nos permiten notar que la división y organización de acontecimientos que presenta, hacen referencia a su interpretación de la epistemología de la Biotecnología, en el sentido del desarrollo de su conocimiento. Es así como sus señalamientos en cuanto a que los orígenes de la Biotecnología se remontan a la prehistoria, a que acontecimientos como la invención del microscopio y los experimentos de Pasteur, están relacionados con el fermento de la Biotecnología y a que el conocimiento y las aplicaciones derivadas del estudio del ADN constituyen el parto (que asociamos a nacimiento) de la Biotecnología, nos llevan a pensar que para la profesora son claras unas etapas del desarrollo tanto de la Historia de la Biotecnología, como del conocimiento biotecnológico.

Podemos notar entonces que para Alejandra los elementos que aportan a la Naturaleza de la Biotecnología desde el aspecto histórico, corresponden a hitos que están referenciados principalmente desde la historia de la Biología. Llama la atención que Alejandra no identifique elementos de la historia de la Biotecnología que tienen que ver con la producción y que por tanto



harían referencia a relaciones CTS, por lo que notamos que su posición respecto al aspecto histórico de la Biotecnología se centra en lo científico (desde la Biología) y que en sus respuestas no es evidente una postura tecnocientífica sobre la Biotecnología.

#### **4.3.1.3 Aspectos sociológicos de la Biotecnología**

Algunas de las respuestas de la profesora Alejandra nos permiten evidenciar su conocimiento acerca de los aspectos sociológicos de la Biotecnología, en términos de establecer relaciones entre la Biotecnología y otros sistemas de la sociedad.

De esta manera, en su respuesta a la pregunta 2, Alejandra señala:

*“[...] yo logré bajar un video donde se ven las consecuencias del agente naranja genéticamente en las personas, ¿qué paso?, ¿qué ocurrió después de eso en el Vietnam? Ehh, hay un artículo que logré conseguir sobre los organismos transgénicos o las plantas genéticamente modificadas y ahí se ve o se manifiesta esos dos puntos de vista, lo bueno y lo malo, si es verdad que genéticamente ocurren transformaciones en el ser humano, eh, hay médicos que dicen que sí, hay otros que dicen que no, hay gente que dice que hormonalmente si tiene una disfunción en los seres humanos, entonces, ese tipo de cosas si se están trabajando en este momento con los muchachos. Con este grupo no se ha trabajado, con ninguno de los dos, pero con el grupo del año pasado sí se hizo eso, los que están ahorita en once, con ellos si se trabajó el artículo y se trabajó todo lo del agente naranja, incluso yo dictaba clase en noveno y logré trabajar ese aspecto con los chicos de noveno, eh, todo lo de la ola verde, de porque la ola verde de Monsanto también se trabajó con ellos, entonces sí se hace eso” (P1.P2).*

Fragmento, en el que hace mención a contenidos de enseñanza relacionados con situaciones como el uso del agente naranja durante la guerra de Vietnam, la producción de plantas transgénicas y la denominada ola verde liderada por la multinacional Monsanto y de manera implícita refiere relaciones CTS que hacen parte de la Biotecnología, como los impactos de los productos biotecnológicos en el material genético de las personas, las diferentes posturas sobre las consecuencias de los organismos transgénicos, así como los discursos políticos que giran alrededor de la revolución verde propuesta por Monsanto.

En este sentido, es importante señalar que en otra de sus respuestas la profesora Alejandra manifiesta: *“Uff, estoy totalmente de acuerdo en que [la Biotecnología] sí genera controversias, morales y éticas, completamente de acuerdo”* (P1.P6.3), lo que concuerda con su discurso en cuanto a que el hombre no puede jugar a ser Dios, en el que, como ya señalamos, cuestiona que lo que hace que la finalidad de la Biotecnología cambie, tiene que ver con la moralidad, la ética y las leyes que derivan de la producción biotecnológica, de lo que es recurrente en el señalamiento

que el ser humano por estar jugando a ser Dios se está olvidando del beneficio de las investigaciones biotecnológicas.

En este orden de ideas, como ya mencionamos, Alejandra también manifiesta que para ella la clonación y las modificaciones genéticas son peligrosas, dado que se están realizando modificaciones genéticas solamente por demostrar que se pueden hacer, como el caso de aplicarle a un gatico genes para que sea fosforescente, con lo que cuestiona a los investigadores, en términos de su moralidad y su ética.

A partir de sus respuestas al instrumento, podemos interpretar entonces que, en cuanto a los aspectos sociológicos de la Biotecnología, Alejandra señala algunas relaciones entre la ciencia y la tecnología, en términos de la producción como objeto de la Biotecnología, las cuales no son problematizadas. Adicionalmente podemos decir que son escasas las repuestas en las que logramos identificar alguna discusión frente a las relaciones entre la Biotecnología y la sociedad, como las implicaciones económicas o éticas de la producción biotecnológica, que nos permitan vislumbrar con mayor precisión una postura tecnocientífica en cuanto a la Biotecnología en los referentes sobre la Biotecnología de la profesora Alejandra.

#### **4.3.2 Creencias de la profesora Alejandra sobre la Biotecnología**

Como ya mencionamos en el marco teórico de esta investigación, los límites entre el conocimiento y la creencia, permanecen hoy día sin resolver. Sin embargo, y de acuerdo con Nespor (1987), en esta tesis consideramos que las creencias tienen un componente afectivo y otro evaluativo, por lo que determinan fuertemente el comportamiento. De igual manera, consideramos que la información del sistema de conocimiento se almacena semánticamente, mientras que las creencias residen en la memoria episódica junto a material extraído de la experiencia o de las fuentes culturales de transmisión de conocimiento.

*Desde este marco, y a partir de las respuestas de Alejandra al instrumento, a continuación, presentamos nuestras interpretaciones respecto a las creencias de Alejandra sobre la Biotecnología.*

*La respuesta de Alejandra en cuanto a si la Biotecnología es buena o mala, la lleva a señalar creencias, en las cuales se observan componentes cognitivos. Así, desde nuestra interpretación, la percepción inicial de la profesora es que la Biotecnología no es buena ni mala, en este sentido manifiesta: “Yo no estoy de acuerdo en clasificar las cosas como tan literalmente, como tan radicalmente en buenas o malas, porque si te voy a ser honesta, ¡hmm, la Biotecnología tiene su lado oscuro, pero también tiene su lado de luz y de claridad” (P1.P2), y durante su respuesta, acude a una experiencia personal, señalando que un familiar tiene una enfermedad degenerativa para la que la medicina tradicional alopática no le funcionó, por lo que en la Biotecnología encontraron una*

*solución, una inyección que le colocan cada 15 días; lo que la lleva a decir que desde ese punto de vista, es decir, desde su percepción, la Biotecnología es buena porque descubrió algo que en un momento determinado pudo mejorar la salud de su familiar.*

*La respuesta anterior nos permite notar la naturaleza episódica de la creencia de Alejandra en cuanto a que la Biotecnología no es buena ni mala, ya que su respuesta está orientada por una vivencia, una experiencia personal.*

Dentro de su respuesta también aparece la percepción de que la Biotecnología es mala. Así, Alejandra señala que la Biotecnología:

*“Es mala en la medida en la que en forma desbordada hacemos investigaciones, sin ponerle límite a los asuntos, en la medida en la que nosotros soltamos una mosca a la naturaleza con una modificación genética, eh, sin tener como los límites y esa mosca va a ocasionar cambios en otros organismos, igual pasa en las plantas, ¿cierto?, es ahí donde yo veo que no es que la Biotecnología sea mala, yo diría que está como mal encaminada y es mala la responsabilidad que nosotros en un momento determinado tenemos sobre ello, ¿sí?, la Biotecnología no es mala, yo veo que tiene muchas cosas favorables para que el hombre pueda mejorar su vida y su estilo de vida, el problema es de qué manera tan irresponsable los seres humanos tomamos esa Biotecnología”*(P1.P2).

Como podemos ver, Alejandra percibe que la Biotecnología es mala, pero que esa maldad no hace parte de su propia naturaleza, sino que deriva de la responsabilidad, o irresponsabilidad más bien, de los investigadores. En este sentido, cuestiona el no ponerles límites a las investigaciones biotecnológicas y acude a las consecuencias de productos biotecnológicos como los organismos genéticamente modificados. Así, encontramos muy difícil interpretar si los señalamientos de Alejandra respecto a si la Biotecnología es mala, está fundamentada en unos conceptos científicos, o surge de unos referentes basados en sus creencias.

Es así como en las respuestas de Alejandra encontramos frases que nos llevan a poner en duda si sus argumentos provienen de conocimientos formalizados o de sus creencias. En este orden de ideas, señalamos que términos como miedo, temor, terror, con los que se expresa, están asociados al componente afectivo de una creencia, no obstante, señalamos también que, en el complemento de sus respuestas, la profesora acude a argumentos en términos de conocimientos formalizados, que nos llevan a poner en duda los referentes en los que fundamenta sus respuestas, situación que podemos observar, por ejemplo, en el siguiente fragmento:

*“[...] uno lee cosas, uno mira, uno ve investigaciones y uno siente a veces, no en todas, siente cierto temor, cierto miedo de que el hombre está jugando a ser Dios, ¿cierto?, es ahí donde yo le tengo terror a que de pronto en un momento determinado uno lleque a esas cosas, yo creo que*

*quienes hicieron todo el estudio de la bomba atómica jamás se imaginaron que ella iba a ser utilizada para destruir un pueblo, para destruir ciudades y destruir al hombre, al hombre mismo, eh, de pronto lo hicieron con otra finalidad y yo veo en este momento que la Biotecnología, está incurriendo en lo mismo, uno crea cosas pero no, no con la finalidad que otras personas, otros poderes, otros gobiernos las están tomando, entonces es ahí a donde uno debe, pienso yo, apuntar con los alumnos, a ese sentido de responsabilidad" (P1.P2).*

En el que podemos ver que cuando Alejandra responde si la Biotecnología es mala, señala que algunas investigaciones le producen una sensación de temor y cierto miedo de que el hombre está jugando a ser Dios, términos que tienen una carga emocional y que asociamos al componente afectivo de una creencia; como durante su respuesta también se refiere a la finalidad de las investigaciones biotecnológicas y pone su explicación en términos de las consecuencias de la bomba atómica, es decir en términos del impacto de las investigaciones a la humanidad, con lo que además cuestiona el sentido de la ciencia y del desarrollo científico, acudiendo a conocimientos formalizados, podemos decir que su respuesta no nos da elementos que nos permitan establecer con claridad si su valoración parte de sus creencias sobre la Biotecnología o de conocimientos formalizados.

No obstante, nos permitimos interpretar que en sus respuestas la profesora Alejandra está evaluando la Biotecnología como buena y como mala, al establecer una posición tanto a favor como en contra, basada en el análisis de la finalidad y responsabilidad con la que se realizan las investigaciones biotecnológicas, análisis en el que notamos la coexistencia de creencias y conocimientos acerca de la Biotecnología.

Nuestra interpretación también nos lleva a señalar que las creencias de Alejandra sobre la Biotecnología están estrechamente relacionadas con sus creencias sobre la enseñanza de la Biotecnología y con sus acciones en el aula, lo cual podemos notar en el siguiente fragmento:

*"Yo siento que es difícil, eh, pues esconder la verdad, ¿cierto?, yo no puedo hablarles a los muchachos y esconder que no hay todas esas modificaciones genéticas que hay hoy en día, que el hombre está haciendo estudios alrededor de muchas cosas, yo pienso que hay que mostrarles a ellos todos esos estudios, hasta donde se pueda, eh, pero también hay que mostrárselo con la, con la responsabilidad que como seres humanos tenemos, o sea, hasta donde la naturaleza eh libremente puede tener modificaciones y hasta donde el hombre logre tener influencia sobre esas modificaciones para que ella continúe. Entonces, el Sol no se puede esconder con un dedo, ¿cierto?, así como el Sol no se puede ocultar con un dedo, yo no puedo ocultar todas las investigaciones que hay, que es lo que de pronto yo trato de hacer, mostrarles los pro y los contra, y que ellos mismos los encuentren, cierto, mostrarles qué tan bueno es, qué tan beneficioso es, qué puede pasar, y tratar de crear en ellos ese sentido de responsabilidad sobre, sobre esas cosas*

*naturales que hay y que en un momento determinado el hombre ha empezado a modificar” (P1.P2).*

Según el cual, Alejandra señala enseñar a los estudiantes los aspectos positivos y negativos de las investigaciones biotecnológicas relacionadas con modificaciones genéticas, tratando de crear en ellos un sentido de responsabilidad al respecto, responsabilidad que cuestiona y que valora como un aspecto negativo de los investigadores que se desempeñan en el campo de la Biotecnología.

#### **4.4 EL CDC DEL PROFESOR TOMÁS**

A continuación, haremos referencia a los hallazgos en cuanto al CDC del profesor Tomás, los cuales derivan de la sistematización y análisis interpretativo de los datos de investigación.

##### **4.4.1 Descripción del caso 2**

En lo que sigue, describiremos y daremos a conocer al profesor Tomás y el contexto de su práctica docente, para luego describir el contexto en el que se realizaron las clases que observamos y sistematizamos.

###### **4.4.1.1 El profesor Tomás (P2)**

Tomás es licenciado en Biología (1989) de la Universidad Pedagógica Nacional, especialista en Multimedia Educativa (1996) de la Universidad Antonio Nariño, Magíster en Educación con Énfasis en Investigación (2000) de la Université de Sherbrooke-Canadá, donde desarrolló la tesis titulada: “Evaluación de la Construcción del Proyecto Educativo Institucional” y, Magíster en Dirección Universitaria de la Universidad de los Andes (2004), donde realizó la tesis titulada: “La Proyección Social, Dimensión Transformadora de las Instituciones de Educación Superior”.

Tiene una amplia experiencia laboral como docente de Biología y Química tanto en colegios del sector privado, entre ellos, el Colegio Bilingüe Duarte French y el Colegio León de Greiff, como del sector público, donde actualmente, y desde el año 2005, se desempeña como Docente de Biotecnología de la jornada nocturna del Colegio La Amistad I.E.D.

Adicionalmente, Tomás tiene experiencia en el campo universitario, en los sectores de Planeación, Calidad, Investigación, Currículo, Extensión Universitaria e Investigación social, donde también se ha desempeñado como asesor y director de tesis, y como asesor y par académico en procesos de autoevaluación, registro calificado y acreditación de programas y de instituciones.

Cabe señalar además que el profesor es también miembro activo y tutor científico de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC).

Tomás ha participado, además, en diferentes encuentros, cursos y talleres, entre los que podemos citar: curso *Formación de Empresa Escolar a través de la lúdica, la recreación y el deporte nivel I, II y III* (mayo de 2008), *X Encuentro de profesores, Investigadores e Innovadores en el aprendizaje de las ciencias: "Ciencia y Literatura"* (Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, octubre de 2009), *Ier. Congreso Nacional Sentido e Importancia de la Educación Media y VI Congreso Nacional de Educación Técnica en sus diferentes Modalidades* (octubre de 2009), *Seminario "Expedición por la Biología y la Biotecnología, Una mirada futurista"* (ACAC, octubre de 2010), curso virtual *Cómo diseñar planes de estudio de las áreas fundamentales obligatorias de la educación preescolar, básica y media* (Editorial Magisterio, marzo de 2011), *Diplomado en Formulación y Gestión de Proyectos de Investigación* (ACAC, junio de 2011), *Congreso Internacional de Evaluación* (Secretaría de Educación de Bogotá, septiembre de 2012), *XIX Convención Científica Nacional: Investigación e Innovación con Impacto Social* (ACAC, septiembre de 2012), curso *Aseguramiento de la Calidad de productos Lácteos* (SENA, diciembre de 2015), curso *Herramientas metodológicas para la investigación científica* (SENA, diciembre de 2015), curso virtual *La Biotecnología en México* (abril de 2016), *Diplomado en Biotecnología para la educación Básica y Media* (ACAC, mayo de 2016) y el *Diplomado en Territorio y Paz* (IDEP-Universidad Distrital, 2018).

Cabe resaltar también que Tomás ha participado en diferentes proyectos con la Secretaría de Educación de Bogotá, entre los que podemos mencionar: *Desarrollo de procesos Investigativos a partir de proyectos Biotecnológicos* (septiembre de 2009), *Manejo de residuos sólidos como oportunidad económica en la generación de empresa en el Colegio Distrital La Amistad* (2008), *Sistema de manejo de residuos sólidos y reciclaje en la institución educativa La Amistad* (2010), *Factores que inciden en el cambio de percepción de los estudiantes de ciclo 5 Jornada Nocturna del Colegio Distrital La Amistad, acerca de los residuos sólidos orgánicos al aplicar la técnica Bokashi EM para su aprovechamiento* (Jardín Botánico, 2011), *Plan general de Biotecnología para la educación de jóvenes y adultos* (2009), *La Biotecnología como generadora de Cultura de Emprendimiento* (2014), *La Biotecnología como escenario de Inclusión Educativa en la educación de Jóvenes y Adultos* (2015).

Tomás también ha realizado varias publicaciones entre ellas las cartillas *Programa de formación en Cultura de la Calidad y Preservación del Medio Ambiente para el IED la Amistad* (2012) y *Emprendimiento y Plan de Negocios* (2012), los boletines: *Boletín Ambiental OIKOS*, números 1, 2 y 3, Colegio Distrital La Amistad, Jornada Nocturna (2011), *Boletín ECOCIENCIA*, Área De Ciencias Naturales y Biotecnología, 2010, 2011, 2013 y los artículos:

- “El énfasis en biotecnología: un camino de aprendizajes, realizaciones y esperanzas”. En el libro *Una Mirada al pasado, presente y futuro de las prácticas pedagógicas*. SED. (2013).
- El juego y la lúdica como estrategia pedagógica y didáctica en el aprendizaje de las ciencias para la educación de jóvenes y adultos. En el libro *Una Mirada al pasado, presente y futuro de las prácticas pedagógicas*. SED. (2013).
- La práctica social como escenario de responsabilidad social universitaria: una experiencia significativa en la jornada nocturna. En el libro *Una Mirada al pasado, presente y futuro de las prácticas pedagógicas*. SED. (2013).
- El énfasis en Biotecnología como escenario de inclusión y desarrollo de una actitud emprendedora. (2017). *Bio-grafía*, 10(19): 351-362.
- Construcción de territorios de paz. (2018). *Horizontes Pedagógicos*, 20(2), 9-18.
- Identificación y caracterización de la función didáctica de las preguntas de un profesor de biotecnología. (2018). *Tecné Episteme Y Didaxis: TED*, (Extraordin).

Lo anterior da cuenta del interés de Tomás por complementar su formación académica y profesional y al mismo tiempo ampliar su campo laboral, lo que le ha permitido no solo desempeñarse en instituciones de educación superior, en diferentes sectores, sino también, incorporar distintos conocimientos a la enseñanza de la Biotecnología y desarrollar proyectos de investigación combinando saberes acerca de la inclusión y el emprendimiento, entre otros.

Llama la atención además la capacidad de liderazgo del profesor, la cual se ve reflejada en el diseño y ejecución de proyectos de investigación escolar encaminados al desarrollo de distintas competencias y habilidades de los estudiantes de la jornada nocturna del colegio distrital La Amistad.

Cabe resaltar, además, el interés de Tomás por las estrategias de enseñanza de las ciencias naturales y de la Biotecnología en particular, el cual evidenciamos a través de su participación en cursos, congresos, seminarios y diplomados como el seminario “*Expedición por la Biología y la Biotecnología, Una mirada futurista*” y el diplomado *Biotecnología para la educación Básica y Media*, que realizó en el año 2016, durante el proceso de observación y registro de las clases que hacen parte de esta investigación.

#### **4.4.1.2 El contexto institucional**

Como ya mencionamos, Tomás se desempeña en el Colegio La Amistad como profesor de Biotecnología, en el marco del énfasis en Biotecnología del programa de Educación Media Fortalecida. Cabe señalar que en la jornada nocturna sólo se ofrece el énfasis en Biotecnología, y que éste énfasis es liderado por el profesor Tomás. Actualmente el programa se ofrece a los estudiantes de Ciclo 5 (Décimo) y Ciclo 6 (Undécimo), quienes asisten a las clases del énfasis

durante la jornada y también a algunas actividades extracurriculares planeadas por Tomás los sábados. Aunque el profesor ha planteado propuestas para vincular al proyecto de énfasis en Biotecnología a otros profesores de Ciencias y de otras áreas del conocimiento y lograr un apoyo interdisciplinar, hoy en día no cuenta con tal apoyo.

Para adelantar este énfasis el profesor contó con la asesoría permanente del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN) y de su grupo de Investigación en Bio-Educación, quienes proponen un modelo pedagógico innovador con elementos de Biotecnología incorporados en el currículo de Ciencias Naturales “inspirado en la formación laboral basada en competencias, en el aprendizaje lúdico, en la exploración de escenarios extraescolares, en didácticas específicas y en el aprovechamiento del tiempo libre, para mejorar logros en el aprendizaje de las ciencias naturales” (Grupo Bio-Educación, 2007).

Teniendo en cuenta que la población estudiantil de la jornada noche está constituida principalmente por jóvenes y adultos, Tomás planteó que la enseñanza de la Biotecnología debía respetar la experiencia de los estudiantes y edificar los nuevos conocimientos sobre ella. Así, y como mencionábamos, el profesor propuso inicialmente desarrollar el énfasis en Biotecnología a través de un currículo desde ciclo 1 (preescolar) hasta ciclo 6 (undécimo) con un eje transversal en la formación de una actitud investigativa en los estudiantes. Esta propuesta estuvo planteada desde la concepción de un trabajo interdisciplinar que apoyara los objetivos del énfasis en Biotecnología, sin embargo, dicha propuesta no se desarrolla hoy en día, debido a la falta de interés por parte de los otros docentes de la jornada noche de la institución.

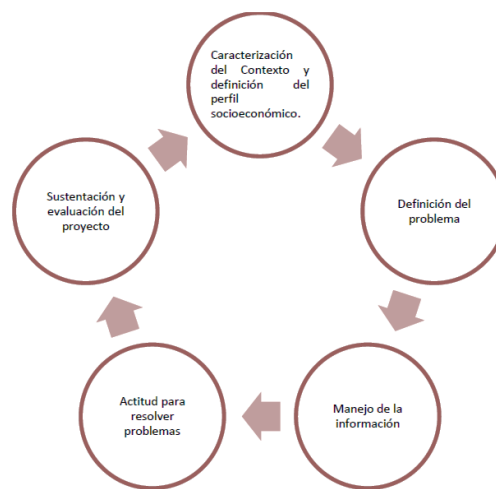
A pesar que el énfasis en Biotecnología no abarca todos los ciclos de enseñanza, como en sus principios idearía Tomás, hoy en día el profesor se encarga de la enseñanza de la Biotecnología en los ciclos 5 y 6, a través de una propuesta que describiremos brevemente, para luego dar paso a la estructura curricular de la asignatura Fundamentos de Biotecnología, enseñada por Tomás durante las clases que hacen parte de esta investigación.

Como propósito de formación del énfasis de Biotecnología Tomás planteó la manipulación de variables experimentales en el desarrollo de proyectos biotecnológicos. Para esto propuso un espacio de trabajo denominado *Taller de Biotecnología*, en el que los estudiantes deben desarrollar y sustentar al final del ciclo 6 un proyecto de Biotecnología como una condición para obtener el título de bachiller.

De igual manera, el profesor planteó tres ejes articuladores del énfasis en Biotecnología, los cuales describimos brevemente a continuación:



- Investigación: De acuerdo a lo propuesto por Tomás, el énfasis en Biotecnología en la educación media para la jornada nocturna se presenta como un nivel de profundización no sólo desde el conocimiento científico sino en el desarrollo de una actitud investigativa en los estudiantes. En este sentido y acogiendo el modelo pedagógico del IBUN, el proceso de investigación participativa es considerada como parte de una experiencia educativa que ayuda a determinar las necesidades de los grupos, de la comunidad; incrementando los niveles de conciencia de los grupos involucrados acerca de su propia realidad. De esta manera Tomás propone un ciclo investigativo (Figura 14) que conduce al planteamiento de un proyecto de Biotecnología cuyo producto es una monografía o una práctica institucional que los estudiantes de Ciclo 6 deben sustentar como requisito de grado y que se fundamenta en los siguientes momentos:



**Figura 14.** Momentos del ciclo investigativo del proyecto de Biotecnología presentado por los estudiantes de ciclo 6. Fuente: Profesor Tomás.

- Emprendimiento: De acuerdo con Tomás, suele relacionarse emprendimiento con la posibilidad de crear empresa. Sin embargo, hace falta, además de los recursos económicos, un entendimiento de las oportunidades de negocio que surgen en el entorno, por lo que el énfasis en Biotecnología busca llevar a los estudiantes a la identificación de oportunidades de negocio para que puedan hacer algo con ellas. La oportunidad de negocio podrá ser mejor aprovechada por una persona con cualidades emprendedoras en comparación con una persona que teniendo las mismas calidades humanas, no tiene esta formación. El énfasis busca entonces que cada estudiante sea capaz de hacer un análisis cuantitativo y cualitativo de la idea; tomar en cuenta sus aptitudes, su capacidad financiera, su capacidad técnica, sus fuentes de financiación, para luego dimensionar, aunque sea intuitivamente la idea de negocio y poderla desarrollar.
- Calidad y ambiente: Según Tomás, el énfasis busca desarrollar en los estudiantes competencias para comprender, analizar, valorar y aplicar en su vida cotidiana la cultura de

la calidad y la protección del medio ambiente, con orientación ética y capacidad de adaptación al cambio para que lleven a cabo una adecuada toma de decisiones y solución de problemas, teniendo en cuenta el impacto de su responsabilidad social y ambiental, por lo que, de manera particular busca, que los estudiantes de ciclo 5 valoren, analicen y comprendan los fundamentos y planificación de los sistemas de gestión de calidad, así como los fundamentos y aplicaciones iniciales de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), y que los estudiantes de ciclo 6, tengan herramientas para llevar a cabo la medición, análisis, mejora, implementación y auditorías de sistemas de gestión de la calidad, así como las aplicaciones específicas de las BPA y BPM.

De acuerdo a lo anterior, a continuación, presentamos la estructura curricular de la asignatura Fundamentos de Biotecnología, enseñada por Tomás durante las clases que observamos y sistematizamos. Cabe señalar, que, a solicitud de la investigadora, el profesor nos compartió su plan de estudios para el ciclo 5, el cual, corresponde a una elaboración personal.

Unidades Temáticas	Temas	Tiempo
1. INTRODUCCIÓN A LA BIOTECNOLOGÍA BÁSICA	Definición Relación de ciencias Biológicas y otras disciplinas en aplicaciones biotecnológicas Repercusión de la obra de Pasteur en la historia de la Biotecnología Diversidad Microbiana Alcances y técnicas en Biotecnología Microbiana	3 Semanas
2. TECNOLOGÍA DEL DNA RECOMBINANTE Y HERRAMIENTAS GENÉTICAS	Antecedentes y fundamentación Producción de proteínas en Bacterias y Levaduras Clonación de genes y proteínas Perspectivas e impacto Ciencias "ómicas"	2 Semanas
3. BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL	Fundamentos y aplicaciones del diagnóstico molecular Vacunas recombinantes Anticuerpos monoclonales Metabolitos primarios: Ácidos orgánicos y aminoácidos Metabolitos secundarios: Antibióticos y otros Biocatálisis y etanol	2 Semanas
4. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL	Aplicación al tratamiento de los residuos y descontaminación	2 Semanas
5. ASPECTOS LEGALES DE LA BIOTECNOLOGÍA	Marco legal vigente Bioética y Bioseguridad Protocolo de Cartagena.	1 Semana

**Tabla 16.** Ejes temáticos del módulo Fundamentos de Biotecnología Ciclo 5. Fuente: Profesor Tomás

Adicionalmente y como vemos a continuación, el profesor también plantea una serie de prácticas de laboratorio y salidas, las cuales según señala, espera que amplíen y refuercen los conceptos vistos en clase y están sujetas a disponibilidad de las instituciones.

PRÁCTICA DE LABORATORIO	TEMAS DE APOYO
1. Inducción al laboratorio de Ciencias Naturales	Reconocimiento áreas de trabajo, instrumentos y equipos, normas, procedimientos.
2. Observación de microorganismos	Manejo del microscopio, identificación de microorganismos.
3. Extracción del ADN	Reconocimiento del ADN, estructura, aplicaciones
4. Identificación de Biomoléculas	Identificación de carbohidratos, lípidos y proteínas
5. Fermentación de levaduras	Concepto de fermentación, productos, acción de la levadura
6. Acción de Enzimas	Concepto de enzimas, importancia y productos
7. Cultivos In vitro de Tejidos Vegetales	Concepto, técnica, procedimientos, importancia
8. Análisis Físico-Químico de la leche	Características de la leche, propiedades organolépticas y pruebas de plataforma
9. Producción de Bioetanol	Concepto de Biocombustible, Síntesis de alcohol a partir de cáscaras de frutas, importancia.
10. Producción de abonos orgánicos a partir de residuos orgánicos aplicando compostaje y Técnica Bokashi EM	Concepto de compostaje, acción de microorganismos, manejo de variables, seguimiento y producción.
Salidas académicas: CORPOICA, SENA-MOSQUERA, CORPOGEN, IBUN, COLEGIO LAS MERCEDES, FUNDASES, HEMOCENTRO DE LA SECRETARÍA DE SALUD.	

**Tabla 17.** Prácticas de laboratorio y salidas propuestas por el profesor Tomás para la clase de Fundamentos de Biotecnología. Fuente: Profesor Tomás.

#### 4.4.1.3 El contexto de las clases del profesor Tomás

Como ya hemos señalado, las clases de Tomás que grabamos y transcribimos correspondieron a la asignatura denominada Fundamentos de Biotecnología, ofrecida a los estudiantes de ciclo 5 de la jornada noche durante el primer semestre del año 2017.

El grupo seleccionado por el profesor Tomás estuvo conformado por 20 estudiantes, todos ellos mayores de edad (entre 18 y 45 años), quienes asistían a las clases los días 1 de la semana, en el horario de 7:00 a 8:20 p.m, lo anterior teniendo en cuenta que en la jornada noche, el horario se maneja atendiendo a 5 días, los cuales transcurren en consecutivo, de día 1 hasta día 5.

Las clases observadas se desarrollaron en el salón de Biotecnología del colegio, contiguo al laboratorio de Biotecnología. El salón estaba dotado con pupitres para 40 estudiantes, un tablero, un televisor de 32" y un video beam. Por su parte, el laboratorio de Biotecnología estaba dotado con materiales, equipos y reactivos suficientes para el desarrollo de diferentes prácticas de Biotecnología, entre ellas, una cámara de flujo laminar y una autoclave, material de vidrio

como tubos de ensayo, cajas de Petri, erlenmeyers, beakers, probetas y pipetas, entre otros materiales e instrumentos.

En total observamos 8 clases, de las cuales sistematizamos 6, debido a que una de esas clases se desarrolló dentro de una visita al Instituto de investigación Corpoica, en la que las explicaciones fueron dadas por el personal de Corpoica y no por el profesor, y a que en la otra clase Tomás socializó a los estudiantes un proyecto relacionado con la inclusión escolar.

Así, en total sistematizamos 6,75 horas de clase. La siguiente tabla presenta una síntesis de las clases sistematizadas.

Fecha - Duración	Temática	Principales actividades y estrategias
P2.C1 Febrero 21 de 2017 31 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concepto Biotecnología</li> <li>- Áreas de trabajo de un laboratorio de Biotecnología vegetal</li> <li>- Organismos genéticamente modificados</li> <li>- Protocolos y Bioseguridad</li> <li>- Aplicaciones biotecnológicas</li> <li>- Células madre y clonación</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Repaso de las exposiciones realizadas por los estudiantes en clases anteriores. El profesor expone unas carteleras y acude a ejemplos y a preguntas retóricas</li> </ol>
P2.C2 Marzo 17 de 2017 1 h 23 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición de Biotecnología</li> <li>- Historia – Desarrollo de la Biotecnología</li> <li>- Elaboración de una arepa como proceso/producto biotecnológico</li> <li>- Clasificación de la Biotecnología por colores</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preguntas abiertas – Diálogo acerca de la elaboración de una arepa</li> <li>2. Exposición del profesor sobre tipos de Biotecnología</li> <li>3. Clasificación de enunciados de acuerdo a los colores de la Biotecnología</li> <li>4. Exposiciones de los estudiantes de su clasificación de las frases asignadas</li> </ol>
P2.C3 Abril 04 de 2017 1 h 17 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relación Biología Molecular y Biotecnología</li> <li>- Conceptos asociados a la estructura y la función del ADN</li> <li>- Biotecnología agrícola (Taller en clase)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Socialización Taller sobre ADN</li> <li>2. Taller en clase sobre Biotecnología Agrícola</li> <li>3. Construcción de párrafos</li> <li>4. Revisión y evaluación de cuadernos y cartillas de Biotecnología</li> </ol>
P2.C4 Abril 24 de 2017 1 h 06 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Historia de la Biología Molecular</li> <li>- Estructura del ADN</li> <li>- Replicación del ADN</li> <li>- Modelos científicos – Modelización</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción a la clase</li> <li>2. Presentación Diapositivas Historia de la Biología Molecular.</li> <li>3. Exposiciones de los modelos (para revisarlos)</li> <li>4. Reflexión acerca de las presentaciones</li> </ol>
P2.C5 Mayo 02 de 2017 1h 18 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura del ADN</li> <li>- Replicación del ADN</li> <li>- Modelización (de la estructura del ADN)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presentación del formato de evaluación de las exposiciones</li> <li>2. Exposiciones de los modelos de dos grupos</li> </ol>
P2.C6 Julio 26 de 2017 1h 10 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura del ADN</li> <li>- Replicación del ADN</li> <li>- Modelización (de la estructura del ADN)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción a la clase</li> <li>2. Exposiciones de los modelos</li> </ol>

**Tabla 18.** Síntesis de las clases sistematizadas caso P.2

#### **4.4.2 El CDC en acción del profesor Tomás**

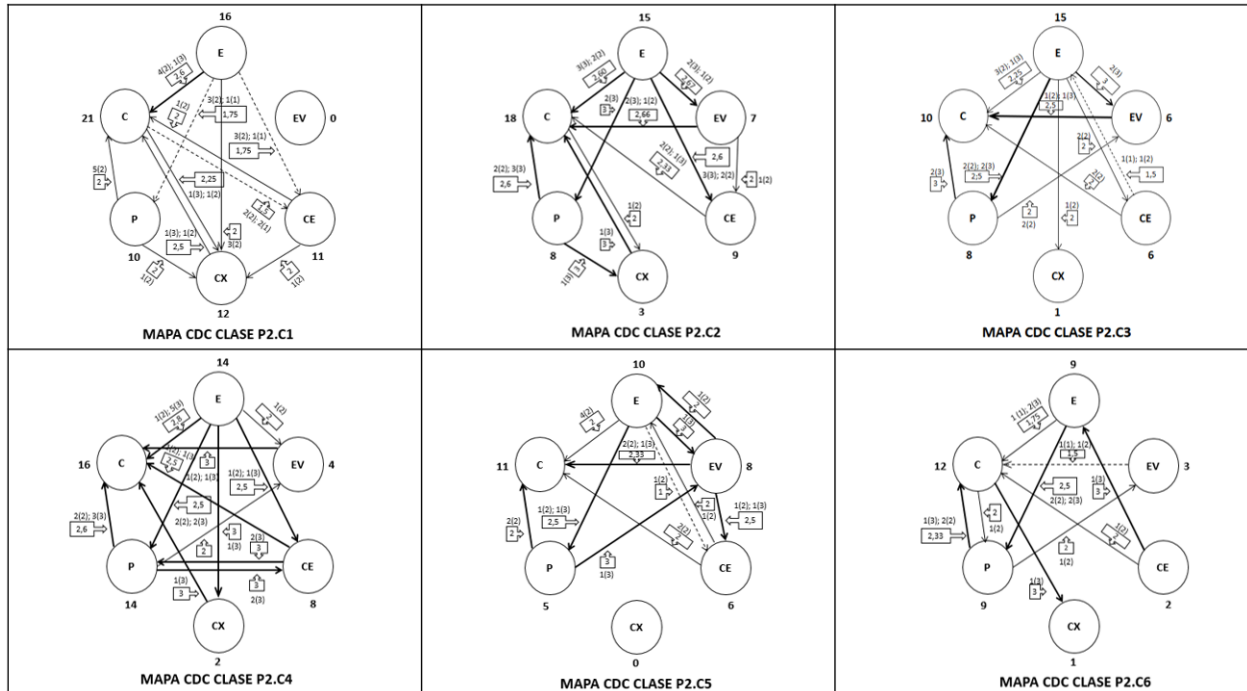
Respecto al CDC en acción de Tomás, inicialmente presentaremos los mapas del CDC en acción, contruidos a partir de la sistematización de las 6 clases incorporadas en esta investigación, acto seguido, presentaremos el mapa consolidado que sintetiza el CDC en acción del profesor, a continuación, nos referiremos a la interpretación de este mapa consolidado, en términos de los componentes encontrados, la frecuencia de los componentes, las relaciones entre componentes y los niveles de complejidad de tales relaciones. Pasaremos luego a presentar nuestra interpretación acerca de cada uno de los componentes del CDC en acción del profesor y dentro de cada componente describiremos aspectos generales a través de algunos fragmentos que consideramos relevantes y retomaremos aspectos acerca de la frecuencia, del tipo de relaciones con otros componentes y de complejidad de estas relaciones.

##### **4.4.2.1 Estructura del CDC en acción del profesor Tomás**

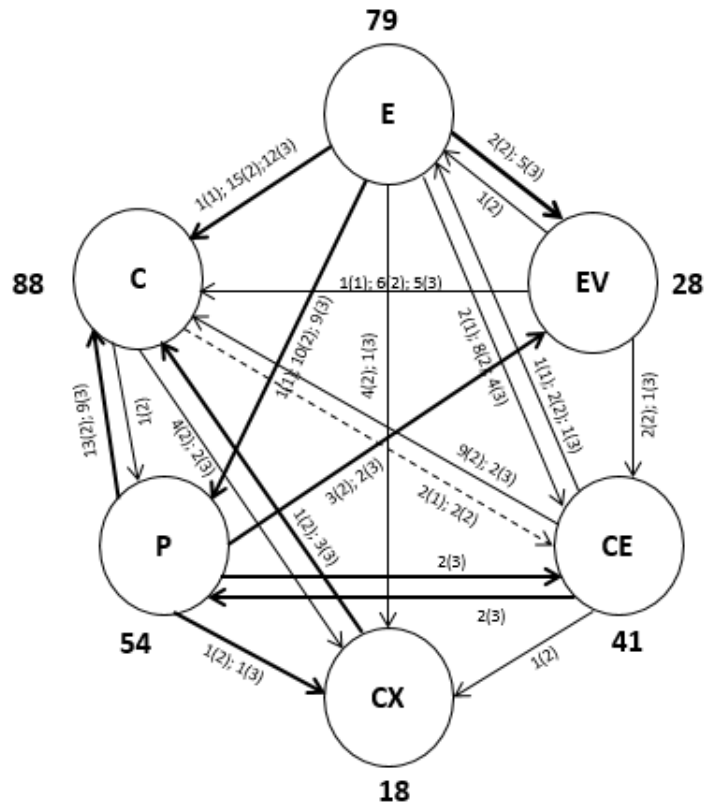
Inicialmente presentaremos los mapas del CDC en acción correspondientes a las 6 clases sistematizadas, luego presentaremos el mapa consolidado del CDC en acción y a partir de este, describimos nuestra interpretación acerca de los componentes y las características de las relaciones entre componentes del CDC en acción del Tomás.

###### **4.4.2.1.1 Mapas del CDC en acción del profesor Tomás**

A continuación, presentamos los 6 mapas (Figura 15), con los que representamos el CDC en acción del profesor Tomás para cada clase. Adicionalmente damos a conocer el mapa consolidado del CDC en acción de Tomás (Figura 16), el cual fue construido teniendo en cuenta el resultado de la suma de las cantidades de cada tipo de relación observada en las 6 clases, así como el promedio del nivel de complejidad de cada relación.



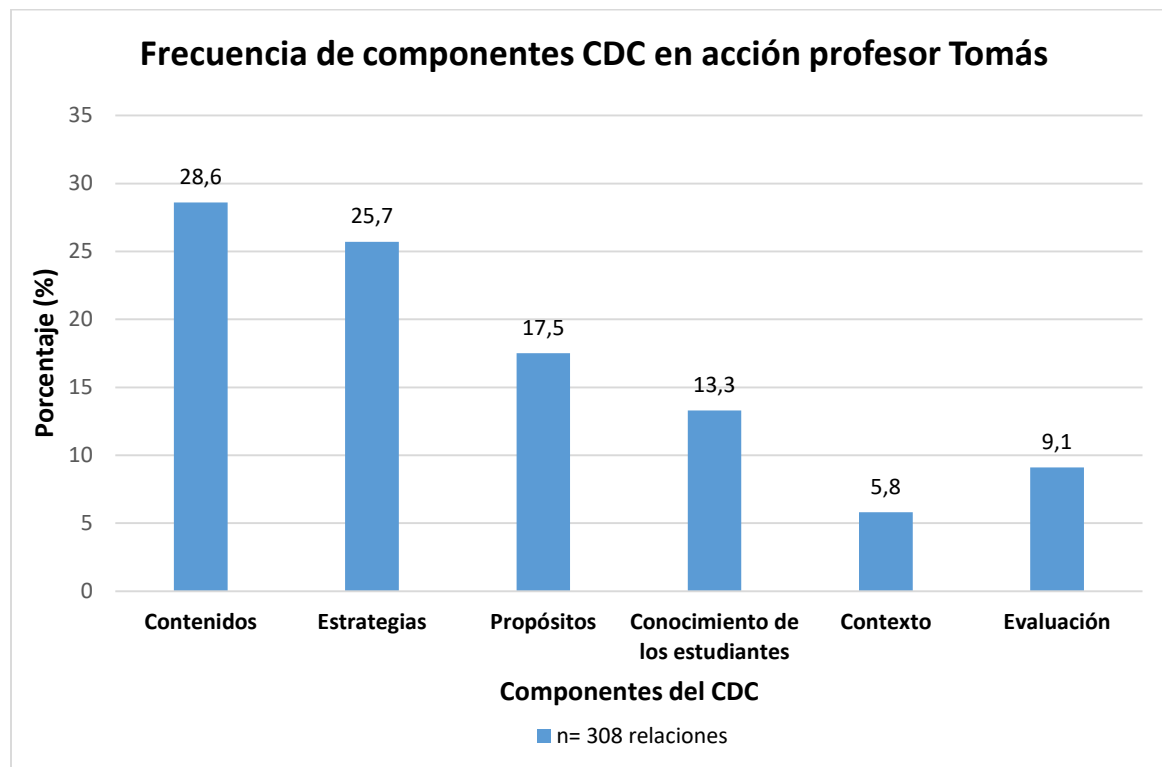
**Figura 15.** Mapas del CDC en acción del profesor Tomás de las clases P2.C1 a P2.C6



**Figura 16.** Mapa consolidado CDC en acción profesor Tomás

#### 4.4.2.1.2 Frecuencia de los componentes del CDC en acción del profesor Tomás

En la idea de analizar el CDC en acción del profesor Tomás, realizamos una gráfica de barras (Figura 17) que nos permite visualizar la frecuencia de cada componente en el mapa consolidado de su CDC en acción, dicha frecuencia corresponde al porcentaje en el que está presente ese componente en el mapa respecto al número total de las relaciones que establecen los componentes, que para este caso fue de 308.



**Figura 17.** Frecuencia de los componentes del CDC en acción del profesor Tomás

De acuerdo con la gráfica, notamos que en el CDC en acción del profesor Tomás, el 28,6% del total de las relaciones son establecidas por el componente Contenidos de enseñanza, mientras que el 25,7 % son establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, lo cual conlleva a que estos sean los componentes mayoritarios de su CDC en acción. De otra parte, los componentes Propósitos de enseñanza, con un porcentaje de 17,5% y, Conocimiento de los estudiantes, con un porcentaje de 13,3%, al tener valores de frecuencia cercanos a la mitad de las relaciones que establece el componente Contenidos de enseñanza, también desempeñan un papel importante en el CDC de Tomás. De igual manera, observamos que los componentes Evaluación, con una frecuencia de 9,1% y Conocimiento del Contexto, con un 5,8% del total de las relaciones, son los componentes minoritarios del CDC en acción de Tomás.

#### 4.2.2.1.3 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones

A continuación presentamos una tabla que nos permite visualizar las relaciones entre los componentes del CDC en acción del profesor Tomás, informándonos además las relaciones en las que cada componente es componente de origen o componente de destino (por lo que el valor de n en este caso corresponde a la mitad del valor del n que tomamos para la construcción de la gráfica de barras que acabamos de presentar), así como la frecuencia de cada relación y su promedio del nivel de complejidad, el cual se representa a través de flechas de diferente grosor y guion, de la manera que se ha venido haciendo.

Teniendo en cuenta los valores de los porcentajes de las relaciones entre componentes en el mapa del CDC en acción, hemos establecido tres rangos de porcentajes de la siguiente manera: Bajo de 0 a 6%, Medio de 6,1 a 12% y Alto de 12,1% a 18,2%.

En la tabla cada rango de porcentaje está representado por un color así: el azul representa el rango de porcentaje bajo, el anaranjado representa el rango medio y el verde representa el rango alto.

Componente Destino \ Componente Origen	C	E	P	CE	EV	CX
C		-	0,6% →	2,6% - - - →	-	3,9% →
E	18,2% →		13,0% →	9,1% →	4,5% →	3,2% →
P	14,3% →	-		1,3% →	3,2% →	1,3% →
CE	7,1% →	2,6% →	1,3% →		-	0,6% →
EV	7,8% →	0,6% →	-	1,9% →		-
CX	2,6% →	-	-	-	-	

**Tabla 19.** Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC en acción del profesor Tomás (n= 154). El color azul representa el rango de porcentaje bajo, el color anaranjado representa el rango medio y el color verde representa el rango alto. → representa complejidad de referencia (perspectiva socio crítica de la producción), → representa complejidad intermedia (perspectiva tecnológica fundamentada de la producción) y - - - → representa complejidad inicial (perspectiva técnica de la producción).



El análisis de la tabla 19, nos deja ver, como ya habíamos señalado, que en el CDC en acción del profesor Tomás el **componente Contenidos de enseñanza** es el que genera mayor número de relaciones con los otros componentes. Así, podemos observar, que los Contenidos de enseñanza son componente de origen cuando los Propósitos, el Contexto y el Conocimiento de los estudiantes son componentes de destino, las dos primeras relaciones con complejidad intermedia, y la última con complejidad inicial y en todos los casos con un porcentaje bajo de aparición. De igual manera, observamos que el componente Contenidos es componente de destino cuando se relaciona con los demás componentes, las relaciones con Estrategias, Propósitos y Evaluación tienen un porcentaje alto de aparición, las dos primeras con complejidad de referencia y la otra con complejidad intermedia; la relación con el Conocimiento de los estudiantes tiene una frecuencia media y complejidad intermedia, mientras que la relación con el Contexto tiene una frecuencia baja, pero una complejidad de referencia. Observamos también, que no aparece la relación Contenidos de enseñanza a Estrategias de enseñanza, ni la relación Contenidos de enseñanza a Evaluación. La presencia de ocho de las diez posibles relaciones entre el componente Contenidos de enseñanza y los otros componentes del CDC, puede significar que el CDC en acción del profesor Tomás está enfocado en su conocimiento de los Contenidos de enseñanza, conocimiento que articula con los demás componentes de su CDC.

Por su parte, el **componente Estrategias de enseñanza** es el que precede en número de relaciones al componente Contenidos de enseñanza. En este sentido la tabla 19 nos deja ver que el componente Estrategias de enseñanza es componente de origen cuando se relaciona con los demás componentes, tres de estas relaciones son de complejidad de referencia, con los componentes Contenidos, Propósitos y Evaluación, las dos primeras con un porcentaje alto de aparición y la otra con porcentaje bajo, y dos de complejidad intermedia, con los componentes Conocimiento de los estudiantes y Contexto, la primera con porcentaje medio y la última con porcentaje bajo de aparición. Podemos ver además que el componente Estrategias es componente de destino cuando se relaciona con el Conocimiento de los estudiantes y con la Evaluación, y que en ambos casos el porcentaje de aparición es bajo y la complejidad es intermedia. Lo anterior nos deja ver que, en el CDC en acción de Tomás, el componente Estrategias ejerce un papel integrador de los demás componentes del CDC.

Respecto al **componente Propósitos de enseñanza** notamos que aparecen cuatro relaciones cuando los Propósitos de enseñanza son componente de origen, todas ellas con complejidad de referencia (falta la relación Propósitos a Estrategias), y que la relación Propósitos a Contenidos tiene una frecuencia alta, mientras que las otras tres relaciones tienen un porcentaje bajo de aparición. Observamos también que cuando los Propósitos son componente de destino aparecen tres relaciones, con los componentes Contenidos, Conocimiento de los estudiantes y Estrategias, las dos primeras con complejidad intermedia, y la otra de complejidad de referencia, de éstas, la

relación Estrategias a Propósitos tiene una frecuencia alta de aparición. Lo anterior indica que en el CDC en acción del profesor Tomás, su conocimiento sobre los Propósitos de enseñanza juega un papel significativo, en la integración y articulación de los demás componentes del CDC.

En cuanto al **componente Conocimiento de los estudiantes**, encontramos que se establecen ocho relaciones, cuatro como componente de origen, con los componentes Contenidos, Estrategias, Propósitos y Contexto, la primera de estas relaciones con porcentaje medio de aparición y complejidad intermedia, y las otras con un porcentaje bajo de aparición y complejidad intermedia, a excepción de la relación CE a P, que tiene complejidad de referencia; y cuatro como componente de destino, con los componentes Contenidos (cuya complejidad es inicial y su frecuencia es baja), Estrategias (cuya complejidad es intermedia y su frecuencia es media), Propósitos (cuya frecuencia es baja y complejidad de referencia) y Evaluación (cuya complejidad es intermedia y su frecuencia es baja). Lo anterior nos indica que, en una proporción considerable, el conocimiento de Tomás acerca de los estudiantes, influencia algunos de los componentes del CDC, lo que conlleva a que este componente desempeñe un papel significativo en la integración del CDC en acción de Tomás.

En cuanto al **componente Evaluación**, podemos observar que en el CDC en acción aparecen cinco de las diez relaciones posibles, tres en las que este componente es componente de origen, con los componentes Contenidos, Estrategias y Conocimiento de los estudiantes, la primera de frecuencia baja, cuya complejidad es intermedia, y las otras con frecuencia baja y de complejidad intermedia también. El componente Evaluación es componente de destino, con los componentes Estrategias y Propósitos de enseñanza, en ambos casos la frecuencia es baja y la complejidad es de referencia. Lo anterior nos deja ver que el componente Evaluación, es uno de los componentes minoritarios del CDC en acción del profesor Tomás, por lo que no participa de manera considerable en la integración de este CDC.

Respecto al **componente Contexto** observamos que también aparecen cinco de las diez relaciones posibles, ya que cuando el Contexto es componente de origen solamente ocurre la relación Contexto a Contenidos, con una frecuencia baja y complejidad de referencia y, cuando el Contexto es componente de destino, únicamente falta la relación Evaluación a Contexto. En este caso las relaciones Contexto a Contenidos, Contexto a Estrategias y Contexto a Conocimiento de los estudiantes tienen complejidad intermedia y una frecuencia baja, mientras que la relación Contexto a Propósitos es de frecuencia baja, pero de complejidad de referencia. De lo anterior podemos decir que, si bien es el componente minoritario, su conocimiento sobre el contexto, le permite contextualizar los contenidos de enseñanza y diseñar estrategias orientadas a dicha contextualización.

#### 4.2.2.1.4 Componentes del CDC en acción del profesor Tomás

Buscando ampliar y comprender mejor las características de los componentes del CDC en acción del profesor Tomás, en lo que sigue intentaremos describir cada componente de acuerdo a lo encontrado durante el proceso de sistematización de las 6 clases observadas.

##### 4.2.2.1.4.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza

En lo que sigue presentaremos nuestra interpretación del componente Contenidos de enseñanza, teniendo como subcategorías de sistematización las siguientes: *Naturaleza de la Biotecnología*, *Contenidos conceptuales*, *Contenidos procedimentales* y *Contenidos actitudinales*.

- **Aspectos epistemológicos de la Biotecnología**

Durante sus clases Tomás abordó la definición de la Biotecnología, para lo cual frecuentemente acudió al análisis etimológico de la palabra, esto es, a indicar que al desglosar el término en *bio*, *techné* y *logos* o *logías* se puede entender que la Biotecnología tiene relación con los seres vivos, ya que *bios* es vida; *techné* hace referencia a técnicas, herramientas o procedimientos para obtener algo y; *logos* es estudio. En este orden de ideas, Tomás enseñó a sus estudiantes que, en síntesis, la Biotecnología es todo estudio que se hace alrededor de la aplicación de tecnologías utilizando seres vivos, o parte de ellos, o lo que ellos producen para obtener productos.

En cuanto al objeto de la Biotecnología, Tomás hizo referencia a elementos como la participación de seres vivos, la manipulación de lo vivo, la producción y la obtención de productos útiles.

Así por ejemplo, al leer los siguientes fragmentos de la segunda clase, podemos notar que el profesor enfatiza que la Biotecnología incorpora el uso de seres vivos: *“es importante por favor antes de que den una respuesta rápida que piensen que cuando hablan de Biotecnología, necesariamente están incorporando allí seres vivos, siempre, o, si no es la bacteria, o el ser vivo que esté allí, por lo menos sustancias que se deriven de ellos, ¿sí?, eso es importante para que uno pueda catalogar si algo es Biotecnología o no lo es”* (Clase P2.C2), y que emplea seres vivos o sus derivados en procesos productivos como los de la industria farmacéutica: *“Entonces, como estamos en tipos de Biotecnología pues tenemos que buscarle la relación de esto, si dice desarrollo de nuevos fármacos, aparecen nuevos fármacos, es porque se está usando una técnica diferente a la producción que se hace a nivel de la industria farmacéutica, cierto, y en los laboratorios, y es que aquí se están empleando seres vivos. Eso también recibe el nombre de los bioinsumos, ¿sí?, o biofármacos”* (Clase P2.C2).

El análisis de las clases nos lleva a señalar también, que Tomás aborda la manipulación de lo vivo como característica de la naturaleza de la Biotecnología, tanto en los casos en los que se refiere a la Biotecnología tradicional, como en aquellos en los que se refiere a la Biotecnología moderna.

Así por ejemplo, en la primera clase manifiesta: *“cuando estamos hablando de la Biotecnología moderna, de la Ingeniería Genética, pues tenemos que hacer también alusión a cómo es eso de la genética y los genes, cómo se transmiten, qué hay allí, eso que llamamos información genética, ¿sí?, la manipulación genética, todas esas cosas, es lo que poco a poco vamos entendiendo”* (Clase P2.C1), con lo que se refiere a la manipulación genética de los organismos como característica de la naturaleza de la Biotecnología moderna; lo cual reitera en la segunda clase, al señalar que el incremento del conocimiento acerca de la molécula del ADN y de su manipulación a través de la Ingeniería Genética, caracterizan la cuarta generación de la Biotecnología.

Con relación a lo anterior, es importante resaltar que durante la segunda clase el profesor aborda específicamente las características que permiten denominar un proceso o un producto como biotecnológicos, acercándose al mismo tiempo al objeto de la Biotecnología como contenido de enseñanza, de manera que, podemos decir que en el desarrollo de esta clase, el principal contenido de enseñanza es el concepto de Biotecnología, asociado a las características de un proceso biotecnológico, de lo que también deriva como contenido de enseñanza los criterios para establecer cuándo un producto es considerado biotecnológico.

Así, durante la clase el profesor presenta a los estudiantes una exposición acerca de los tipos de Biotecnología de acuerdo a su clasificación por colores, durante la exposición presenta relaciones entre la definición de cada tipo de Biotecnología y los procesos biotecnológicos que se incluyen en cada una, haciendo constante referencia a la mediación de seres vivos, particularmente microorganismos, y casi siempre bacterias o sustancias producidas por ellas en los procesos productivos que menciona, como podemos notar en el siguiente fragmento en el que se refiere a la Biotecnología blanca de la siguiente manera:

*“P.2: La Biotecnología blanca, está referida a la Biotecnología que tiene que ver con todos los procesos industriales, la producción industrial, ¿sí?, y entonces, ¿qué tiene que ver la Biotecnología con la parte industrial?, pues mucho, porque, eh, los textiles, eh, los detergentes, ¿ustedes han comprado detergentes que dicen bio?, eh, ¿sí?”*

*E.3: Biodegradables*

*P.2: Biodegradables. Ehh que tienen un componente enzimático, unas enzimas que son precisamente producidas por unos microorganismos y que tienen un efecto sobre esas sustancias que alteran los textiles, las grasas, las manchas, todo eso. Entonces, en esto hay todo un trabajo interesante que ojalá podamos abordarlo que es sobre la acción de las enzimas precisamente desde el punto de vista de los detergentes. Y también en la industria textil, en la industria textil,*

eh, digamos hay aplicación de la Biotecnología, ¿sí?, en los textiles, en las fibras que se manejan, etcétera” (Clase P2.C2).

Vale la pena señalar que en otro de los episodios de esta clase el profesor entrega a los estudiantes unas proposiciones para que ellos las clasifiquen en el color de la Biotecnología que consideren y luego justifiquen su clasificación a los demás compañeros, con lo que busca enseñar los criterios de clasificación de procesos biotecnológicos atendiendo a los tipos de Biotecnología por colores. Durante las presentaciones de los estudiantes, el profesor señala reiterativamente la participación de los seres vivos en la obtención de productos biotecnológicos, lo que, como ya dijimos, constituye un elemento del objeto de la Biotecnología que Tomás busca que los estudiantes tengan en cuenta en el momento de establecer sus justificaciones.

En el transcurso de las clases, Tomás se refiere también a la manipulación de lo vivo y a la obtención de productos útiles como elementos del objeto de la Biotecnología, tal y como podemos observar en el siguiente fragmento de la segunda clase:

“[...] Porque en esencia qué es lo que nos importa con el desarrollo de la Ingeniería Genética, es poder encontrar, a partir de los genes, y de esa, de esa manipulación, de esa transferencia, de ese insertar un gen en otro genoma, encontrar nuevos productos, encontrar unas modificaciones, que puede ser una planta, un animal, puede ser una bacteria que necesito porque es que esa bacteria me puede generar una enzima que voy a necesitar a nivel industrial, o que voy a necesitar esa enzima a nivel médico, ¿sí?, o sea que tiene muchas aplicaciones...” (Clase P2.C2).

A través de su discurso, Tomás aborda un contenido asociado a la epistemología de la Biotecnología, al señalar que a través de la manipulación de los genes y genomas, actividad propia de la Ingeniería Genética, se pueden obtener productos como plantas transgénicas y organismos modificados genéticamente, productores de enzimas y otras sustancias de interés, lo que lo lleva a señalar que la Ingeniería Genética tiene muchas aplicaciones y sería como el paraguas de todos los tipos de Biotecnología. De lo anterior subyace además una posición en cuanto a la relación ciencia – tecnología dentro de la Biotecnología, que da cuenta de una perspectiva tecnocientífica, en la que la tecnología, entendida como las aplicaciones biotecnológicas, se hibrida con la actividad científica -preocupada por la comprensión de la naturaleza de genes y genomas-, en la intención de obtener productos que sean útiles y a la vez económicamente rentables.

Esta postura tecnocientífica es reiterada durante la cuarta clase, cuando manifiesta: *“[...] la Ingeniería Genética es cómo puedo yo estudiar esa información genética que está allí presente en estos fragmentos de ADN y cómo puede inducir a una modificación de uno o varios genes para*

*lograr un objetivo. Entonces se llama ingeniería, porque ustedes saben que la ingeniería se basa en modelos y se basa precisamente en construir, en diseñar. Entonces hagan de cuenta coger el ADN y empezar a cambiar piecitas, a construir otras, a encajar, ¿cierto?, unas bases con otras y buscando, qué es lo que produce tal cosa, o cómo podemos generar tal otra a partir de esos ajustes que puede darle a esa información contenida en esos fragmentos de ADN, ¿sí? entonces hoy yo lo estoy diciendo de una manera muy, muy general, pero esto que yo estoy diciendo es de una profundidad grande, científica, investigativa” (Clase P2.C4). Refiriéndose así de manera indistinta a la actividad tecnológica, entendida como el diseño y la construcción a través de modelos y, a la actividad científica, con las que se busca obtener productos.*

A partir de lo anterior podemos señalar que en varias de las clases el profesor se refiere a la obtención de productos útiles como objeto de la Biotecnología. Lo que también podemos evidenciar en la primera clase, en la que señala que la Biotecnología se puede clasificar dependiendo de la intencionalidad de su aplicación, por lo que relaciona la Biotecnología vegetal con la obtención de plantas resistentes a plagas; la Biotecnología alimentaria con la elaboración de alimentos nutricionalmente enriquecidos a través del uso de microorganismos o enzimas microbianas; la Biotecnología industrial con la producción limpia, reducción y eliminación de contaminación y el trabajo sobre biomateriales; la Biotecnología humana con el tratamiento de ciertas enfermedades a través de terapia génica y pruebas de ADN utilizadas en criminalística; la Biotecnología animal con la producción animal asociada al mejoramiento en términos genéticos de determinadas razas, la clonación, y la fertilización *in vitro* de embriones; y la Biotecnología ambiental con la conservación de la biodiversidad y la descontaminación de aguas residuales, utilizando microorganismos como bacterias.

El análisis de ésta clase nos permite notar que en el discurso del profesor subyace un enfoque de utilidad de la Biotecnología, asociado a la solución de problemáticas, pero también una definición y clasificación de la Biotecnología de acuerdo al sector en el que se refleja dicha utilidad (vegetal, animal, humana, industrial).

En este sentido, es importante resaltar que a través de sus clases, Tomás hace referencia a diferentes formas de clasificación de la Biotecnología, de manera que como ya se ha dicho, clasifica la Biotecnología en Tradicional y Moderna, enseña a los estudiantes a clasificar los procesos y productos de acuerdo a los criterios de clasificación de la Biotecnología por colores y además, cuando se refiere a la historia de la Biotecnología, hace mención a la clasificación de los procesos biotecnológicos de acuerdo a las generaciones del desarrollo de la Biotecnología, esto es primera, segunda, tercera y cuarta generación, como veremos más adelante, en el apartado del aspecto histórico de la Naturaleza de la Biotecnología.

De otra parte, es importante mencionar que el profesor aborda la interdisciplinariedad de la Biotecnología como contenido de enseñanza particular. En este sentido, durante la primera clase expresa que en clases anteriores han visto el por qué la Biotecnología es interdisciplinaria, y a través de su discurso asocia dicha característica con el hecho de que la Biotecnología involucre el trabajo con seres vivos, ya que al trabajar en un tema o línea de la Biotecnología, se debe contar con conocimientos de disciplinas como la Biología, la Química y la Genética: “de hecho, ya, el trabajar con seres vivos implica que tengamos un conocimiento de la Biología, de ese ser vivo, o de esos seres vivos que estoy trabajando, ¿sí?, de la Química, por los procesos metabólicos que también ellos realizan, y obviamente pues la Genética, porque cuando estamos hablando de la Biotecnología moderna, de la Ingeniería Genética, pues tenemos que hacer también alusión a cómo es eso de la genética y los genes, cómo se transmiten, qué hay allí, eso que llamamos información genética, ¿sí?, manipulación genética, todas esas cosas, es lo que poco a poco vamos entendiendo” (Clase P2.C1), con lo que Tomás enseña un contenido asociado a la estructura sustantiva de la Biotecnología.

En la misma idea, durante la segunda clase, en la que el principal contenido de enseñanza es el concepto de Biotecnología, Tomás vuelve a referirse a la interdisciplinariedad de la Biotecnología, en términos de participación de diferentes conocimientos y disciplinas en la solución de problemas.

Durante sus clases, Tomás además explicita la relación entre ciencias como la Biología y la Bioquímica con la Biotecnología. De manera particular, durante las clases 3, 4 y 6 se refiere a la estrecha relación entre la Biología Molecular y la Biotecnología. Es así como, durante la cuarta clase, en la que el tema es la naturaleza del ADN, expresa que la Biotecnología tiene fundamento en la Biología Molecular, por lo que aborda como contenidos de enseñanza la definición y algunos eventos de la historia de la Biología Molecular. Así mismo, durante la sexta clase expresa a sus estudiantes que al entender las dinámicas del ADN, las cuales son estudiadas por la Biología Molecular, van a comprender la relación entre esas dinámicas y la Biotecnología, en cuanto la transformación del ADN, de lo que expresa: “pero *si ya tenemos esta base de la Biología molecular, luego vamos a entender esos procesos de transformación que se dan, ¿sí?, a través de la Biotecnología”* (Clase P2.C6), con lo que queda claro que para Tomás, la producción de conocimiento biotecnológico requiere la participación de otras disciplinas, en este caso, del conocimiento de la Biología molecular.

Así, y en cuanto a contenidos asociados a la producción del conocimiento biotecnológico vale la pena señalar que de acuerdo con lo que Tomás manifiesta en la segunda clase, la Biotecnología avanza a medida que avanzan la ciencia y la tecnología, lo que implica que el cambio en las formas de producción de conocimiento científico a través de cambios en la investigación influye a la

Biotecnología. Durante su discurso Tomás hace referencia a los experimentos y las confrontaciones del conocimiento sobre la vida, como parte de los avances de la ciencia que llevaron a los procesos biotecnológicos que conforman la cuarta generación de la Biotecnología o Biotecnología moderna.

Respecto a la producción de conocimiento científico, podemos señalar también que, durante las clases quinta y sexta, Tomás es enfático en señalar que la generación y uso de modelos científicos es parte del proceder en ciencias para producir y comprender el conocimiento científico, lo que ampliaremos en el aparatado de contenidos procedimentales.

Durante estas dos clases el profesor acudió a la construcción y explicación de modelos sobre la estructura y la replicación del ADN, señalando que el conocimiento científico sobre el ADN le corresponde a la Biología Molecular y que dicho conocimiento se relaciona con la Biotecnología ya que lo que le interesa a ésta es poder hacer transformación del ADN a partir del conocimiento sobre los procesos de replicación y transcripción.

Con lo que observamos, para el profesor el conocimiento de la Biología Molecular se relaciona con el conocimiento de la Biotecnología, en la medida que posibilita, a partir de técnicas como la hibridación de ADN y la clonación, la obtención de productos biotecnológicos como los alimentos transgénicos, de los cuales escuchamos a través de los medios de comunicación, lo que además nos lleva a reiterar la postura tecnocientífica de la producción de conocimiento biotecnológico que aparece en su discurso.

Respecto a la organización discursiva de la Biotecnología, cabe señalar que, en las clases observadas, Tomás hace referencia a lo que denomina términos propios de las ciencias, o terminología científica, como característica del lenguaje con el que espera los estudiantes se expresen en las clases de Biotecnología. Desde nuestra interpretación señalamos entonces que para el profesor Tomás las ciencias tienen un lenguaje propio, que las identifican, y dado que, como ya hemos notado, para Tomás existe una estrecha relación entre ciencias como la Biología Molecular, la Genética y la Bioquímica, ese lenguaje también hace parte de la organización discursiva de la Biotecnología.

Así, por ejemplo, podemos observar en el siguiente fragmento de la cuarta clase que para Tomás el discurso de las ciencias posee una terminología propia, la cual debe ser aprendida por los estudiantes para que puedan dar explicaciones respecto a la estructura, función y replicación del ADN:

*“Luego, a través del taller que ustedes resolvieron que básicamente buscaba era que ustedes desarrollaran una serie de consultas sobre el ADN, la estructura, sus funciones, cómo se replica el*



ADN, y obviamente que hay una terminología que es necesaria ir poco a poco aprendiendo para que ustedes mejoren el discurso desde el punto de vista de la ciencia para poder dar explicaciones” (Clase P2.C4).

Desde nuestra interpretación, podemos decir, además, que en el discurso de Tomás las palabras términos y conceptos parecen tener el mismo significado, lo que nos permite señalar que para el profesor la organización discursiva de la Biotecnología se da en torno al uso de conceptos científicos, de ciencias como la Biología, la Genética y la Bioquímica.

Respecto a la validación del conocimiento biotecnológico, es importante mencionar que el profesor se refiere principalmente a los modelos científicos como las estrategias que permiten representar el conocimiento científico, así por ejemplo durante la cuarta clase manifiesta:

“En ciencias se usan mucho los modelos porque los modelos son la representación de algún tema o aspecto de la realidad, entonces, en este caso, los modelos del ADN nos permiten representar un conocimiento que no lo puedo yo ver a simple vista, porque estamos hablando de moléculas microscópicas que no se pueden ver, cuando se aísla el ADN uno ve unas fibras blancas, sí, pero que usted ve la estructura no la puede ver así no más a simple vista. Los modelos nos permiten acercarnos a lo que los científicos y los teóricos de los ácidos nucleicos y de todo lo que es la Biología molecular nos reportan de cómo es la estructura de la molécula del ADN” (Clase P2.C4).

Lo que nos permite pensar que para Tomás una forma de validación del conocimiento científico es la representación de dicho conocimiento a través de modelos. Vale la pena señalar entonces que en ninguna de las clases observadas el profesor se refiere específicamente a mecanismos o estrategias de validación del conocimiento biotecnológico propiamente dicho, y que se limita a referirse a los modelos como estrategias de validación del conocimiento científico.

Respecto a la finalidad de la Biotecnología, podemos mencionar que en la primera clase Tomás manifiesta a sus estudiantes que la Biotecnología se puede clasificar dependiendo del sector en el que se refleja su utilidad (vegetal, animal, humana, industrial). El análisis de ésta clase nos permite notar que en el discurso del profesor subyace la idea de que la utilidad de la Biotecnología está asociada a la solución o mitigación de problemáticas como el hambre, la contaminación y la pérdida de biodiversidad, en la que prevalece el beneficio para la humanidad, el cual plantea a nivel social, sin señalar la rentabilidad económica de la Biotecnología.

En este sentido, cabe señalar que en la segunda clase se refiere a la finalidad de la Biotecnología, en términos de encontrar soluciones a problemas y posibilidades de producción, cuando, al atender una pregunta de uno de sus estudiantes manifiesta: *“El fin de la Biotecnología, como*

*estamos viendo en todos los temas es, lo que persigue es, por un lado, solucionar un problema que está latente en el mundo o en alguna población, aumentar la productividad, ¿sí?, la parte económica, productividad, y, obviamente, el de hacer más funcionales por ejemplo los alimentos, o los animales, hacerlos...” (Clase P2.C2).*

Durante esta misma clase Tomás manifiesta también que la Biotecnología es un campo cada vez más extenso y complejo, que está aportando soluciones a muchas situaciones problemáticas o quiere encontrar otras posibilidades de producción y de tratamiento a problemas en las poblaciones; con lo que reitera su posición en cuanto a la finalidad de la Biotecnología.

La producción como finalidad de la Biotecnología a la que el profesor se refiere tiene que ver con la obtención de productos a través de la participación de los seres vivos o de la manipulación de su información genética (a través de la Ingeniería Genética), pero también con la obtención de productos útiles y económicamente rentables.

Adicionalmente, vale la pena señalar que, en ocasiones, el profesor plantea cuestionamientos respecto a la finalidad de ciertos procesos biotecnológicos, como en el caso de la segunda clase en el que aborda el concepto de clonación y al mismo tiempo cuestiona cuál es su propósito:

*“[...] Bueno, listo, listo, estamos de acuerdo, bien sea, la técnica, digamos, el tema de la clonación, puede ser a nivel animal, digamos a nivel de ecosistemas marinos, que podría ser, o a nivel de plantas, ¿sí?, y pues tiene fines, además de investigativos es también, como tú decías, preservar especies, es también mirar cómo podemos obtener, ehh, organismos idénticos, desde el punto de vista morfofisiológico, cierto, y bueno, vamos mirando ¿de verdad para qué se clona?, ¿por qué el hombre está haciendo eso?, ¿por qué clona animales como la oveja Dolly?, ¿cierto?, ¿por qué?, ¿cuál es el propósito?” (Clase P2.C2).*

Sin embargo, a pesar que en esta clase Tomás realiza algunas preguntas a sus estudiantes que podrían suscitar la reflexión en torno a la finalidad de la clonación, vale la pena decir que estas preguntas no son abordadas por los estudiantes, y por lo tanto no se desarrolla alguna discusión al respecto.

- **Aspectos históricos de la Biotecnología**

A través de sus clases Tomás hace referencia a contenidos asociados a la historia de la Biotecnología. En este orden de ideas, enseña contenidos conceptuales del tipo hechos y datos relacionados con la clasificación de la Biotecnología en Tradicional y Moderna y con las generaciones del desarrollo de la Biotecnología.

Así por ejemplo, durante la primera clase, señala que los organismos modificados genéticamente no hacen parte de la Biotecnología tradicional, en la que aparecen productos como el kumis, el yogurt, el queso y la cerveza, sino de aquella Biotecnología moderna que trabaja con el ADN y con los genes, ya sea modificando la información que está contenida allí, o haciendo transferencia de genes de un organismo a otro, para lograr obviamente una producción de algo, o un mejoramiento en una planta, o en un animal, o crear una resistencia, o producir una sustancia que va a ser de beneficio. A través de estas afirmaciones el profesor da cuenta de su reconocimiento de la tradición histórica de la Biotecnología, pero también, como ya hemos señalado, del objeto de la Biotecnología.

En ese sentido, adicionalmente, y durante la exposición que hace en la segunda clase, hace mención a las cuatro generaciones contempladas en la cartilla del IBUN. Se refiere entonces a la primera generación como una generación tradicional; a la segunda generación como aquella marcada por los aportes de Pasteur respecto al estudio de los microorganismos, con lo que a su vez reitera la importancia de los microorganismos en la Biotecnología; y a la tercera generación de la Biotecnología como aquella marcada por el descubrimiento de los antibióticos, que son sustancias producidas por microorganismos, como podemos ver en el siguiente fragmento:

*“P.2: La tercera generación, ustedes leyeron, recuerdan que nos habla de la era de los antibióticos, ¿sí?, de los antibióticos, y cuál es la importancia de lo que hizo Alexander Fleming por, con los antibióticos, ¿finalmente los antibióticos qué son, según lo que ustedes... ¿qué?, ¿qué es un antibiótico?*

*E.6: Bacterias*

*P.2: Bacterias*

*E.8: Antibacterias*

*P.2: Antibacterias... ve, ¿qué más?, O sea, fíjense que los antibióticos tienen que ver con los microorganismos, o sea, ¿el medicamento se hace a partir de...?*

*Estudiantes: Bacterias*

*P.2: De bacterias, o de las sustancias que ellas generan. Entonces claro, se vuelve un antídoto ante las mismas bacterias...* (Clase P2.C2).

Adicionalmente, Tomás se refiere a la cuarta generación como *“una época que es más moderna, más reciente y más cercana a lo que hoy estamos viviendo, que es la Biotecnología moderna”* (Clase P2.C2), señalando como hito importante el incremento del conocimiento acerca de la molécula del ADN y de su manipulación, lo que relaciona con la Ingeniería Genética, dando a entender que el programa genético de las bacterias (microorganismos) es el que media en los procesos biotecnológicos que corresponden a la Biotecnología moderna.

De manera particular, durante la cuarta clase, Tomás presenta a los estudiantes una diapositiva de Power Point en la que muestra una línea del tiempo de la Historia de la Biología Molecular. Durante la clase el profesor plantea que la Biotecnología tiene fundamento en la Biología Molecular dado que es una rama de la Biología que se encarga de estudiar moléculas que son esenciales para la vida como el ADN y las proteínas.

Los hechos de la Historia de la Biología Molecular a los que el profesor se refiere son: Surgimiento de la Teoría de Evolución con Charles Darwin en 1859, aportes de Gregor Mendel a finales del siglo XIX, experimentos de Morgan con las *Drosophila Melanogaster*, experimentos de Griffith de transformación de bacterias, experimentos con bacteriófagos de Avery, McCleod y McCart, establecimiento del modelo de la estructura del ADN por Watson y Crick en 1953, descubrimiento de las bases nitrogenadas en la época de los 60, su complementariedad y su organización como tripletas o codones que codifican para proteínas (aminoácidos), la secuenciación del ADN en 1977, a partir de la aparición de la técnica de PCR, que daría origen a la Revolución de la Ingeniería Genética, lo que cabe señalar, relaciona con la tercera generación de la Biotecnología. El profesor hace mención también a adelantos como la clonación en los 90, la síntesis de células en el 2000, así como a lo que denomina descubrimientos más a fondo del ADN aplicado al tratamiento de enfermedades, a lo que llama terapia génica, como podemos ver a continuación:

“Luego, miren, en 1977 empieza a haber el tema de la secuenciación, es decir, cómo estas fibras del ADN se van organizando y se van repitiendo, en el 83 tenemos esto, este avance, la PCR, la reacción en cadena de la polimerasa, algo vimos allá, que se amplifica un segmento del ADN a través de esta técnica, y bueno, digamos que ya vienen otros adelantos en los 90, como la clonación, ¿cierto? En el 2000 la síntesis también de lo que se ha hecho en el laboratorio, poder sintetizar una célula por ejemplo y descubrimientos obviamente más a fondo del ADN, aplicados al tratamiento de enfermedades, entonces se llama terapia génica...” (Clase P2.C4).

De manera relevante señalamos que Tomás manifiesta que la investigación en torno a los genes ha tomado varias vías, no solo para poder buscar la cura a algunas enfermedades sino también para la producción a nivel agrícola y a nivel ganadero, y también para la biorremediación y otras aplicaciones, que aparecen desde la década de los 70's y 80's, con la revolución de la Ingeniería Genética; con lo que, como ya hemos mencionado, a través de su discurso, relaciona la historia de la Bioquímica y de la Genética con la historia de la Biotecnología.

- **Aspectos sociológicos de la Biotecnología**

El análisis de las clases nos permite notar que Tomás enseña varios contenidos asociados a las relaciones que establece la Biotecnología con otros sistemas de la sociedad, los cuales en algunos

casos presenta a manera de cuestiones sociocientíficas, abordaje coherente con la postura tecnocientífica acerca de la Biotecnología a la que ya nos hemos referido.

Así, durante la primera clase Tomás se refiere a la relación entre la bioseguridad y la investigación sobre organismos genéticamente modificados, señalando que en el mundo hay normas para regular los experimentos en Biotecnología y que no está aprobado experimentar con humanos, clonar humanos. Manifiesta también que en Colombia en 2002 hubo un protocolo de Cartagena, donde se estableció el tema de la bioseguridad y de la protección de la biodiversidad y que eso es algo que se debe conocer, para no quedar ausente de todo lo que pueda impactar estas cosas. Desde nuestra interpretación, asociamos tal afirmación con el planteamiento de cuestiones sociocientíficas relacionadas con la necesidad de conocer la legislación acerca de los OGM (Organismos Genéticamente Modificados) para poder tomar decisiones informadas en cuanto a productos asociados a la Biotecnología.

En este sentido, Tomás expresa además que las cosas que tienen que ver con la Genética son delicadas, y que los organismos modificados genéticamente se traducen en el mercado en productos que ya habrán visto como el tomate y variedades de maíz transgénico, de los que señala muy seguramente no sabemos cómo es que han llegado a eso. Respecto a los transgénicos señala también: *“En los países, sobre todo en los europeos, son muy exigentes cuando un producto va a salir al mercado, un producto que ha sido tratado con técnicas biotecnológicas. Casi que los alimentos transgénicos es difícil para que entren en el mercado, ¿sí? porque pues digamos ustedes saben que eso sigue siendo algo experimental, si también es cierto hay en el mercado algunos alimentos transgénicos, todavía no sabemos a ciencia cierta cuál va a ser el impacto a futuro”* (Clase P2.C1), con lo que problematiza la presencia de organismos modificados genéticamente en el mercado y el desconocimiento de sus impactos a futuro, lo que asociamos al planteamiento de cuestiones sociocientíficas en relación con los alimentos transgénicos, dado que en sus afirmaciones aparecen implícitas relaciones entre Ciencia – Tecnología – Sociedad y Ambiente.

En este orden de ideas, vale la pena recalcar que durante la segunda clase Tomás presenta a los estudiantes otra situación controvertida relacionada con las razones por las cuales los biocombustibles no se han comercializado, en la medida en la que señala, como podemos notar en el siguiente fragmento, que aunque los biocombustibles no son contaminantes y tienen mejores atributos que otros combustibles, no se han comercializado a gran escala debido a la sociedad, pues allí hay temas económicos y políticos, así como de costos, que inciden en su uso:

*“P.2: Eso. Entonces, uno diría, bueno, por qué, si no es contaminante, y se ha encontrado que tienen mejores atributos que un combustible normal, por qué no se ha comercializado, ¿sí?, o por qué no se consume, pues digamos, por la sociedad, a gran escala.*

E.12: Porque es más caro

P.2: Bueno, entonces, aquí hay un tema, por ejemplo, político, un tema económico, que juega, ¿cierto?, y pues obviamente habría que mirar en términos de costos, también, qué significaría eso, ¿sí? Pero ese tema sí vale la pena dejarlo como, como un tema de discusión, sí, sobre cómo se inserta el tema de los biocombustibles, en el, en la, en el mercado, ¿cierto?, ¿cuáles son digamos esos factores que inciden en que eso se utilice o no? Dejémoslo entre paréntesis para desarrollar ese tema, me parece es interesante” (Clase P2.C2).

Durante esta misma clase, y al hacer referencia a las clases de Biotecnología por colores, el profesor menciona los sectores productivos con los que se relaciona cada color, y en algunos casos también presenta ejemplos que tienen que ver con las interacciones sociales que se pueden presentar con algunas aplicaciones biotecnológicas, entre ellas los biofármacos y los detergentes. Así, por ejemplo, el profesor manifiesta que la Biotecnología roja está relacionada con el campo de la salud y acude a un ejemplo sobre un biofármaco que contiene unas bacterias que ayudan a regular el intestino; durante su discurso el profesor menciona desventajas y ventajas de dicho medicamento, como su alto costo y la ausencia de efectos secundarios, tal y como podemos observar en el siguiente fragmento:

“O sea, ¿qué quiere decir, cuando yo digo por ejemplo biofármacos?, quiere decir que esos fármacos tienen microorganismos, como bacterias, o sustancias que ellas generan y que producen un efecto sobre el organismo, puede ser el del cuerpo humano, ¿sí?, por ejemplo, yo conozco, y he consumido algunos biofármacos, ¿sí?, que contienen unas bacterias que ayudan a regular el intestino, ¿sí?, que es muy costoso, un poco, ¿sí?, porque, pues son tecnologías que se emplean, conocimiento muy especializado, y aún es muy costoso en nuestro medio estos biofármacos, pero, pues realmente, tiene un efecto muy importante, y no tiene, pues hasta el momento no se ha descubierto ningún tipo de, de efectos secundarios, ¿sí?...” (Clase P2.C2).

De otra parte, durante la cuarta clase, a raíz de la solicitud del profesor a los estudiantes que asistieron a la salida al centro de investigación Corpoica (salida pedagógica) de contar a sus compañeros lo que significó para ellos esa visita, algunos estudiantes señalan que la Biotecnología ayuda a prevenir enfermedades ocasionadas por bacterias, permite estudiar al ser humano, posibilita obtener y cosechar nuevas variedades de papa como la perla negra, investigar la cura para un virus que afecta la piña y para un virus de la caña de azúcar (investigaciones que se adelantan en Corpoica), con lo que, las expresiones de los estudiantes se constituyen en contenidos de enseñanza para los demás compañeros, que tienen que ver con las relaciones que se establecen entre la Biotecnología y otros sectores de la sociedad como el sector de la salud y de la producción agrícola.

Adicionalmente, es importante señalar que durante la sexta clase, Tomás hizo alusión a la importancia de comprender los procesos de la replicación del ADN para así poder entender a partir de la ciencia procesos biotecnológicos como las variedades de maíz transgénico de los que se escuchan a través de los medios de comunicación; lo que nos permite pensar que para él los contenidos que enseña están orientados a la posibilidad de que los estudiantes comprendan la información que circula a través de los medios de comunicación.

- ***Contenidos conceptuales***

Respecto a los conceptos básicos de la Biotecnología que Tomás desarrolla durante las clases sistematizadas, vale la pena mencionar que en las primeras dos clases Tomás abordó la definición de la Biotecnología, en relación con sus aplicaciones y los criterios de clasificación por colores. Por su parte, en la tercera clase Tomás abordó principalmente la relación entre la Biología Molecular y la Biotecnología, informando a los estudiantes que en las próximas clases estudiarán conceptos asociados a la estructura y función de la molécula de ADN, por lo que, en las siguientes tres clases, los principales contenidos de enseñanza derivan de las exposiciones de los estudiantes acerca de sus modelos sobre la estructura y replicación del ADN y de las intervenciones que Tomás hace al respecto, reiterando constantemente, como ya hemos señalado la relación entre la Biología Molecular y la Biotecnología. Durante estas tres últimas clases el tema es la naturaleza del ADN, por lo que es importante señalar que el profesor revisa los modelos sobre la estructura del ADN que los estudiantes han elaborado, solicitándoles que pasen a exponer en qué consiste su modelo. Al referirse a la revisión de los modelos, indica que lo más importante es, a partir del modelo poder explicar cómo es el comportamiento del ADN, y específicamente, cómo es que se replica, estableciendo así una relación directa entre la construcción del modelo y contenidos conceptuales asociados al ADN.

De esta manera evidenciamos contenidos conceptuales asociados a conceptos estructurantes de la Biología molecular, y por tanto de la Biotecnología, así como contenidos procedimentales asociados a la modelización (aproximación al modelo científico de la estructura del ADN), a los que nos referiremos más adelante.

Cabe señalar también que, en la quinta clase, una vez finalizan las exposiciones de los estudiantes Tomás realiza una retroalimentación en la que aborda y/o desarrolla algunos contenidos de enseñanza conceptuales. Así, por ejemplo, se refiere a la estructura del ADN, por lo que menciona las bases nitrogenadas y su complementariedad, el grupo fosfato, el azúcar desoxirribosa, la estructura de doble hélice y los puentes de hidrógeno. A manera de datos el profesor hace referencia a las fases de iniciación, elongación y finalización del proceso de replicación del ADN, así como a la participación del ARN como cebador en el proceso de replicación del ADN.

De acuerdo con lo anterior, Tomás da inicio a la sexta clase haciendo una explicación acerca de la estructura y replicación del ADN. Durante su explicación aborda varios contenidos conceptuales tanto del tipo conceptos como del tipo datos. Así, dentro de los contenidos conceptuales podemos mencionar las características estructurales de la molécula de ADN, el ADN como molécula de la vida, la relación del ADN con la transmisión y expresión de la información genética (esto último como expresión de los genes) y la relación entre los cromosomas, los genes y el ADN, como podemos observar en el siguiente fragmento:

“Exacto, o sea que hay una relación de interpretación entre estos tres términos, desde el punto de vista también estructural, si bien es cierto, por ejemplo un cromosoma, por aquí voy a pintar uno, las cromátidas y el centrómero, los cromosomas no son más que filamentos de ADN y proteínas, ¿sí?, que si yo me pongo a observar la estructura interna de un cromosoma, pues voy a encontrar filamentos de ADN, pero ¿qué tiene que ver el ADN con un gen?, pues un gen, es primero que todo un segmento, ¿sí?, una partecita del ADN, que tiene una información genética específica, ¿sí?, entonces, los genes vienen a ser paqueticos de ADN, esos paqueticos están expresando algo, es una información que está contenida, por ejemplo, para formarse el aminoácido metionina...” (Clase P2.C6).

A manera de datos el profesor señala que existe ADN en el núcleo y en las mitocondrias, que el ADN permite la reproducción celular y la transmisión de la información genética, que el ácido ribonucleico (ARN) es el responsable de la síntesis y producción de proteínas, las etapas del ciclo celular, y que los procesos celulares desde el punto de vista de la Genética corresponden a la replicación, transcripción y traducción del ADN, así como a la síntesis de proteínas.

Para finalizar su explicación, Tomás se refiere a la relación entre los procesos de la Biología molecular que está enseñando y la Biotecnología, tal y como podemos leer en el siguiente fragmento:

“Entonces, digamos, comprendiendo un poco esto, ustedes van entendiendo cuáles son esas dinámicas que se dan a nivel de la Biología Molecular, porque esto es Biología Molecular, y luego comprender qué relación tiene eso con la Biotecnología, porque nosotros estamos hablando de Biotecnología, pero estamos hablando también del ADN, ¿sí?, entonces van comprendiendo ustedes que a la Biotecnología le interesa mucho ese estudio, esa investigación a nivel molecular para poder hacer transformación, ustedes saben que yo puedo ya manipular el ADN, yo puedo alterar ciertas funciones del ADN, puedo hacer hibridación, puedo hacer clonación, ¿sí?...”(Clase P2.C6).



- **Contenidos procedimentales**

Dentro de los contenidos procedimentales que el profesor aborda durante sus clases, se encuentran aquellos referidos al trabajo en el laboratorio, lo que incluye el conocimiento de las zonas de un laboratorio de Biotecnología, de los protocolos de trabajo, del principio de funcionamiento de algunos equipos, del vestuario requerido, así como de la importancia del trabajo en equipo.

Es así como, durante la primera clase, al referirse a la información de una de las carteleras que expone, Tomás aborda el tema del trabajo en el laboratorio, hablando específicamente de las áreas de trabajo en un laboratorio de Biotecnología vegetal, entre las que menciona la zona de recepción o de ingreso, la zona de esterilización, lavado y desinfección, el área de incubación de material vegetal y el área de crecimiento y desarrollo.

El profesor se refiere también a los protocolos de seguridad que hay en todo laboratorio y que deben conocer, así, se refiere a cómo se hace la esterilización del material, cómo se hace la limpieza, la desinfección, el lavado de manos. Indica que cuando se habla de protocolo, se está hablando de unas normas o procedimientos que han sido avalados en cualquier laboratorio y que deben ser aplicados, mencionando los protocolos que están establecidos por ejemplo para flamear, para desinfectar, o limpiar ciertos elementos.

De otra parte, durante las clases 4, 5 y 6, y como ya hemos señalado el profesor enseña a sus estudiantes a modelizar, esto es a representar la estructura y la replicación de la molécula del ADN, lo que asociamos tanto a una estrategia de enseñanza como a un contenido procedimental. Así, en tanto contenido de enseñanza se refiere a las instrucciones para hacer y exponer un modelo, haciendo énfasis en la selección de materiales, el uso de convenciones, la apropiación de terminología científica y la adquisición de competencias comunicativas y, a la finalidad de los modelos científicos, en cuanto permiten representar y comprender el conocimiento científico.

De esta manera, durante la cuarta clase, Tomás revisa los modelos del ADN que han elaborado los estudiantes como parte del desarrollo del taller propuesto dos semanas atrás. Al referirse a la revisión de los modelos, indica que lo más importante es, a partir del modelo poder explicar cómo es el comportamiento del ADN, y específicamente, además de la estructura del ADN, cómo es que se replica.

A través de la quinta clase Tomás expresa también a sus estudiantes que es importante identificar cada elemento de la estructura, indicando como ejemplo que deben expresar que significan los colores que utilizan, convenciones que se deben precisar para que cualquier persona sepa lo que

se está representando. En ese mismo sentido Tomás manifiesta que es importante que incorporen elementos innovadores a través de los cuales pueden representar muchas cosas.

Vale la pena señalar que durante sus exposiciones los estudiantes mencionan varios contenidos conceptuales a manera de datos, sin embargo, el profesor señala que lo que le interesa es el proceso de construcción del modelo, con lo que reitera el proceso de modelización como contenido de enseñanza.

En este orden de ideas, el profesor enuncia que en la siguiente clase cada grupo va a presentar su modelo acerca de qué es el ADN y cómo se replica. Enuncia también que lo que quiere es que aprendan a transmitir y explicar un hecho biológico, lo que les sirve en la vida y en cualquier escenario, en cuanto a desarrollar la capacidad de argumentar y de poder comunicar información de índole científico, señalando que cuando se habla de estos temas, se tiene que tener una rigurosidad en el manejo conceptual, por lo que la intención de la actividad es llevar a los estudiantes a ser rigurosos con las explicaciones.

De esta manera, Tomás se refiere a la búsqueda de información y en ese orden de ideas, a cómo aprender a seleccionar aquellas fuentes que puedan aportar un conocimiento más riguroso sobre el tema, por lo que aprender a seleccionar las fuentes de enseñanza se constituye en un contenido de enseñanza, en este caso asociado a la modelización.

Para finalizar la clase el profesor menciona que en la siguiente clase van a ver si el modelo representa lo que se quiere explicar, es decir que se pueda usar el modelo, que tenga potencial como modelo y permita explicar cada partecita y cómo están ellas articuladas, y porqué están dispuestas de esa manera y no de otra.

Una vez algunos grupos de estudiantes realizan sus presentaciones el profesor hace una retroalimentación en la que se refiere a la manera adecuada de hacer una exposición, así, reitera la importancia de tener un orden que parta de la estructura del modelo, indicando a los estudiantes que deben empezar por dividir el tema, por etapas. Señala además que la terminología no es fácil, por lo que al dejarlos solos quería que fueran recursivos y copiaran en el tablero, hicieran un mapa conceptual o algo que les ayudara a recordar esos términos, lo que da cuenta de un contenido de enseñanza procedimental en términos de aprender a utilizar un lenguaje científico en las exposiciones, dado que el lenguaje al que el profesor se refiere es aquel particularmente asociado a la estructura y replicación del ADN podemos decir que este es un contenido de enseñanza tópico específico. Tomás reitera además que se debe comprender que cada parte del modelo representa un componente de la estructura de la molécula del ADN.

Cabe señalar que, en la sexta clase, Tomás sigue reiterando como contenido de enseñanza las competencias de transmitir un conocimiento en cuanto a aprender a exponer contenidos

asociados a la Biotecnología y de igual manera, que los modelos permiten representar el conocimiento científico, como podemos notar en el siguiente fragmento de la clase:

*“[...] ustedes siempre que vayan a hacer una presentación de un tema hagan una especie de contenido, digan, de primeras voy a hablar de tal cosa, en segundo lugar, voy a hablar de otra cosa, para que haya un orden sí. Entonces digamos, si van a hablar del ADN, pueden empezar por las generalidades del ADN, ¿sí?, qué es el ADN, cuáles son sus funciones, después pasan a la estructura del ADN, entonces ya cogen el modelo y empiezan a explicarlo, ¿sí? El colocar colores, bolitas de colores, es solamente para poder diferenciar una base de otra, pero no es que en la realidad una base nitrogenada sea roja, no, o amarilla, o azul, no, es como tu representas esa molécula, ¿sí?, entonces, hablas de la estructura, de cómo se configura, y cómo se relacionan unas con otras, o sea, de cómo se relaciona una base nitrogenada con la otra...”* (Clase P2.C6).

- **Contenidos actitudinales**

Durante el desarrollo de las clases observadas Tomás enseña algunos contenidos actitudinales, entre ellos, actitudes positivas para el trabajo en grupo, actitudes críticas en cuanto a la actividad biotecnológica, actitudes positivas hacia la lectura de documentos científicos, así como el interés hacia el aprendizaje de la Biotecnología.

En este orden de ideas, en cuanto a las actitudes positivas para el trabajo en grupo, durante la primera clase, como ya hemos señalado, Tomás manifiesta a sus estudiantes la importancia de aprender a trabajar en equipo, y que cada uno aporte al trabajo, para poder sacar adelante un proyecto en el laboratorio.

Durante sus clases el profesor aborda además la enseñanza de actitudes críticas en cuanto a la actividad biotecnológica, de esta manera, a través de su discurso motiva a sus estudiantes a cuestionar los impactos positivos y negativos de las investigaciones en Biotecnología y de los productos derivados de tales investigaciones. Es así como, por ejemplo, en la primera clase, hace mención a la importancia de conocer sobre Bioseguridad y a su vez sobre las normas que regulan las investigaciones y mitigan los riesgos de tales investigaciones para la humanidad, refiriéndose a la clonación con humanos, al Protocolo de Cartagena, a los riesgos de algunos alimentos transgénicos y a las pruebas que deben superar dichos alimentos para salir al mercado, recalcando que si no se tiene conocimiento acerca de las normas y leyes que rigen el trabajo en Biotecnología entonces no se pueden conocer los impactos que se puedan generar, como podemos ver en el siguiente fragmento:

*“[...] En Colombia en 2002 hubo un protocolo de Cartagena, donde se estableció también el tema de la Bioseguridad y para la protección de la biodiversidad, y eso es algo que, pues uno debe conocer, porque si uno no conoce las normas y las leyes que rigen todo este trabajo, pues*

*solamente que, queda ausente de todo lo que pueda impactar estas cosas [...] entonces para que ustedes vean, que uno cree que pues todo lo que hay en el mercado, pues, bien, uno lo consume pero, uno no tiene idea de qué hay detrás de todos esos productos, cómo se, cómo se generaron, sí?, qué tipo de tratamientos hubo, etcétera” (Clase P2.C1).*

De otra parte, encontramos también, que, durante sus clases, el profesor Tomás enseña a sus estudiantes la importancia de aprender sobre Biotecnología, lo que asociamos a un contenido actitudinal que hemos denominado interés hacia el aprendizaje de la Biotecnología. De esta manera, durante la cuarta clase, manifiesta a sus estudiantes que lo que busca cuando aborda el tema de la Naturaleza del ADN es que ellos construyan conocimientos, que entiendan como esos conocimientos se aplican en el sector real y también, que entiendan cómo el conocimiento sobre el ADN aporta tanto para conocerse a sí mismos como lo que acontece en el entorno.

El panorama anterior acerca de los contenidos de enseñanza observados en la práctica del profesor, nos permite notar que en las clases sistematizadas Tomás abordó diferentes contenidos tópicos específicos relacionados con una postura tecnocientífica de la Biotecnología. En este sentido, en el transcurso de las clases encontramos que hace referencia de manera explícita a contenidos de enseñanza relacionados con la interdisciplinariedad de la Biotecnología, la participación o mediación de seres vivos o sus partes en la obtención de productos útiles y a la producción tanto como finalidad como objeto de la Biotecnología. Adicionalmente, en su discurso encontramos el cuestionamiento desde la política, la economía y el beneficio social, de algunos productos y aplicaciones de la Biotecnología como la clonación, los alimentos transgénicos, los biofármacos y los biocombustibles, que, sin embargo, quedan en el nivel enunciativo de cuestiones sociocientíficas, que no son discutidas activamente por parte de los estudiantes.

En este orden de ideas, destacamos también el reconocimiento y enseñanza de aspectos históricos de la Biotecnología, y la importancia de relevar los acelerados cambios que ha sufrido el desarrollo de la Biotecnología y su incidencia en la sociedad, aunque, cabe señalar la enseñanza de la historia de la Biotecnología, no partió de un contexto histórico y político, propiamente dicho.

Así, durante las clases 1 y 2 desarrolló contenidos asociados a la epistemología de la Biotecnología, en los que el hilo conductor está dado por el abordaje de qué es la Biotecnología, atendiendo a aspectos de su Naturaleza, como su definición, su historia, su condición interdisciplinar, su objeto, su finalidad y su clasificación de acuerdo tanto al sector en el que se llevan a cabo sus aplicaciones, como a los criterios de clasificación de la Biotecnología por colores. En ese sentido, en estas dos clases Tomás enseña la relación Biotecnología – proceso biotecnológico – intervención de seres vivos (haciendo constante referencia a los microorganismos, y en particular a las bacterias), durante su discurso también hace mención a

una característica muy importante de los seres vivos que es la posesión de un programa genético, el cual puede ser manipulado, lo que constituye la base de la Ingeniería Genética. Sin embargo, durante la clase 2 observamos que las relaciones que establece el componente contenidos de enseñanza presentan en su mayoría una complejidad promedio de referencia (ver figura 15), derivada de una perspectiva sociocrítica que se refleja en la problematización de los contenidos tópicos específicos en cuanto a las implicaciones con otros sistemas de la sociedad, mientras que en la clase 1, predominó una perspectiva tecnológica, pues si bien durante el repaso que Tomás hace, aparece una fundamentación conceptual respecto a la definición de Biotecnología así como una contextualización de los contenidos de enseñanza, no hay espacios para la participación efectiva de los estudiantes, que dé cuenta de su interiorización y reflexión respecto de los contenidos enseñados.

De otra parte, durante las clases 3 a 6, Tomás se refiere particularmente a la relación entre la Biología Molecular y la Biotecnología, para desde allí abordar contenidos relacionados con la estructura y replicación del ADN, que luego busca relacionar con la Naturaleza de la Biotecnología en términos de la manipulación genética, y la consecuente obtención de productos biotecnológicos, como los alimentos transgénicos, los cuales además de definir, también problematiza en cuanto a la necesidad de conocer los procesos para su obtención y así poder tomar decisiones responsables e informadas al respecto.

En este sentido, cabe señalar que, desde nuestra interpretación, varias de las relaciones del componente contenidos de enseñanza observadas en los mapas correspondientes (ver figura 15) tienen una complejidad promedio de referencia, en la medida que, en estas clases, Tomás explicita conceptos que son estructurantes, necesarios para la comprensión de la Biología molecular y la constitución del ADN, tanto desde una perspectiva histórica y epistemológica (como en la clase 4, en la que predominan las relaciones de complejidad de referencia), como desde la modelización (Clases 4, 5 y 6), contenido de enseñanza que le permite relacionar la epistemología de las ciencias con la Biotecnología, así como también abordar contenidos asociados a la Biología molecular, los cuales aborda a partir de la fundamentación conceptual, pero también en ocasiones problematiza, por lo que observamos tanto relaciones de complejidad intermedia como de complejidad de referencia.

Así, en términos generales, encontramos que en el mapa consolidado del CDC en acción de Tomás (ver figura 16), varias de las relaciones tienen complejidad intermedia, pero también, que tres de ellas tienen complejidad de referencia, debido principalmente al conocimiento que el profesor tiene sobre la epistemología de la Biotecnología, el cual se hace evidente en la perspectiva sociocrítica desde la que presenta los contenidos de enseñanza.

#### 4.2.2.1.4.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza

El análisis de la figura 17 nos deja ver, que en el CDC en acción del profesor Tomás, el 25,7% del total de las relaciones son establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, lo cual conlleva a que éste sea uno de los componentes mayoritarios. Dado que este componente establece relaciones con todos los otros componentes del CDC, es un componente central en la integración del CDC en acción de Tomás.

Una revisión juiciosa de la sistematización de las 6 clases de Tomás nos permite clasificar sus estrategias de enseñanza en cuatro grandes grupos:

1. Estrategia expositiva
2. Modelización
3. Visita a Corpoica
4. Otras estrategias: Talleres Sobre ADN y sobre Biotecnología Agrícola, Cartilla Biotecnología IBUN

A continuación, haremos referencia a cada una de los tipos de estrategias de enseñanza empleadas por Tomás.

- ***Estrategia expositiva***

Atendiendo al marco teórico previamente presentado acerca de las estrategias de enseñanza, y dada la necesidad de describir las estrategias didácticas empleadas por el profesor Tomás, en este apartado retomamos la definición de enseñanza expositiva, presentada por Ausubel (1973), quien señala que, para fomentar un aprendizaje significativo, es necesario mejorar la eficacia de las exposiciones. En este sentido, para Ausubel, el aprendizaje de la ciencia consiste en lograr que los estudiantes asuman como propios los significados científicos, por lo que las estrategias didácticas deberán perseguir un acercamiento progresivo de las ideas de los estudiantes a los conceptos científicos (Pozo y Gómez, 1998).

De acuerdo con Moreira (2012), esencialmente, son dos las condiciones para el aprendizaje significativo: 1) el material de aprendizaje debe ser potencialmente significativo y 2) el aprendiz debe presentar una predisposición para aprender. La primera condición implica que el material de aprendizaje tenga significado lógico (es decir, que sea relacionable de manera no arbitraria y no literal con una estructura cognitiva apropiada y relevante), mientras que para que se cumpla la segunda condición el aprendiz debe tener en su estructura cognitiva ideas-ancla relevantes con las cuales relacionar ese material. Así, el material debe ser relacionable con la estructura

cognitiva y el aprendiz debe tener el conocimiento previo necesario para hacer esa relación de forma no arbitraria y no-literal (p. 36).

En relación con lo anterior, para que una explicación o exposición, ya sea oral o escrita, resulte eficaz, es preciso que establezca de modo explícito relaciones entre la nueva información que se va a presentar y ciertos conocimientos ya presentes en la estructura conceptual del estudiante, ideas inclusoras que posibilitan la asimilación de la nueva información. Cuando no existan esas ideas inclusoras o su activación directa resulte improbable, es preciso recurrir a un organizador previo, lo que suele constituir la primera fase en una secuencia de enseñanza basada en la enseñanza expositiva (Pozo y Gómez, 1998).

De acuerdo con Moreira (2012), algunas estrategias e instrumentos pueden tener mayor potencial facilitador del aprendizaje significativo, pero dependiendo de cómo se usen en situación de enseñanza pueden o no promover tal aprendizaje. Por lo que, según el autor, la facilitación del aprendizaje significativo depende mucho más de una la postura docente, que, de nuevas metodologías, incluso basadas las modernas tecnologías de información y comunicación.

A partir de los anterior, consideramos que en algunas clases el profesor Tomás desarrolla actividades enmarcadas en una estrategia expositiva, con las que, establece de modo explícito relaciones entre la nueva información y ciertos conocimientos ya presentes en la estructura conceptual de los estudiantes, las cuales posibilitan la asimilación de la nueva información.

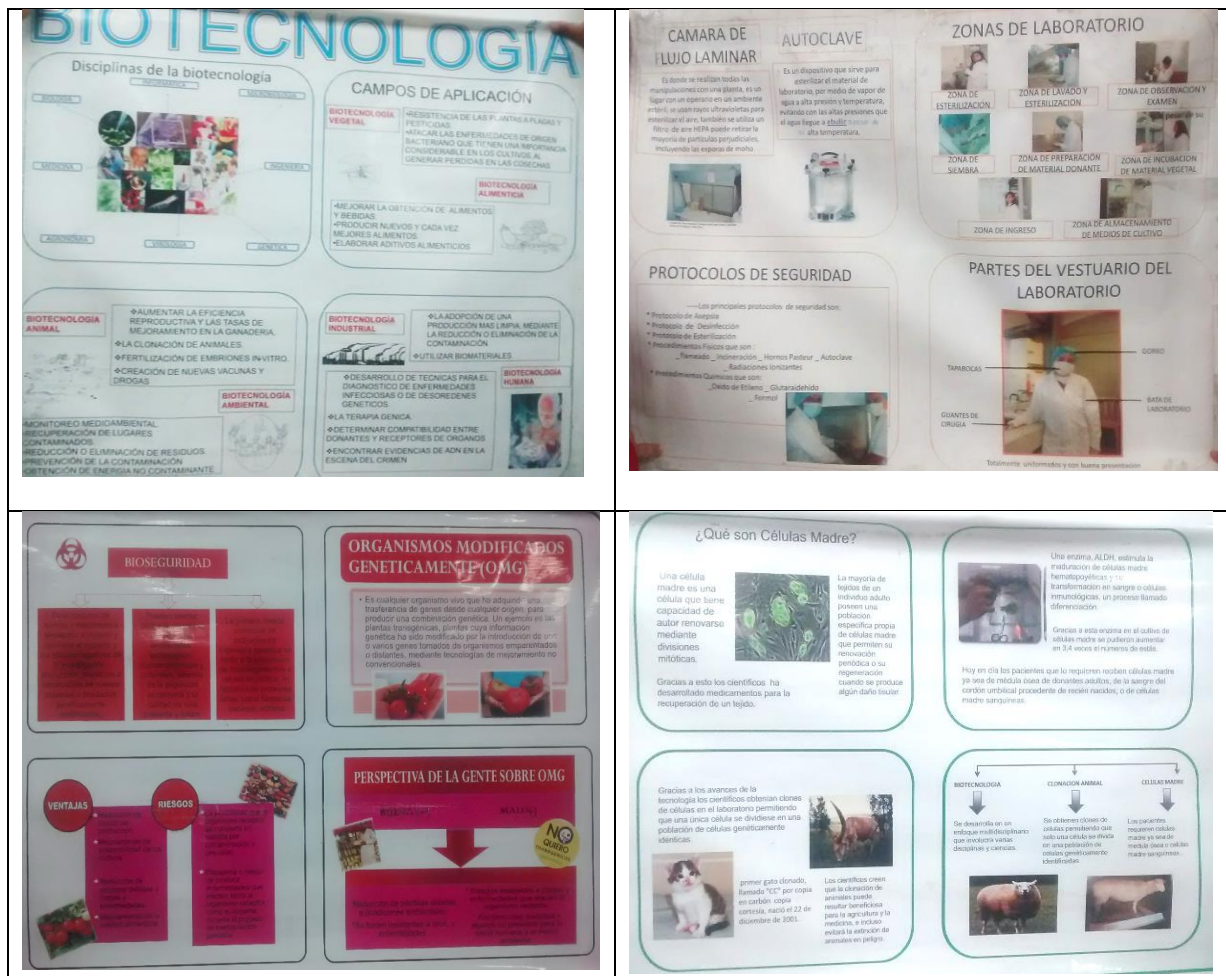
En este sentido, y como veremos a través de la siguiente descripción, Tomás acude a distintos materiales con los que realiza la presentación de la nueva información, tales como, carteleras, diapositivas y discusiones, realizando también diferentes clases de preguntas relacionadas con la cotidianidad de los estudiantes y el contexto de la Biotecnología, con las cuales tiende un puente cognitivo entre lo que los estudiantes ya saben y lo que necesitan saber antes de aprender significativamente los contenidos en cuestión (Pozo y Gómez, 1998).

De esta manera, señalamos que, durante la primera clase, Tomás hace un recuento de los temas abordados previamente por los estudiantes a través de exposiciones realizadas en clases anteriores. Durante su recuento Tomás se apoya en la información de cuatro carteleras, que podemos observar en la figura 18, y que fueron elaboradas por estudiantes egresados, es decir, de años atrás.

A través de su exposición Tomás realiza varias preguntas retóricas con las cuales busca centrar la atención de los estudiantes en algunos puntos que considera de interés, además, acude a ejemplos, con los cuales aproxima a los estudiantes a la información que está presentando. Así,

por ejemplo, cuando expone la primera cartelera, en la que se refiere a las clases de Biotecnología: vegetal, alimentaria, industrial, humana, animal y ambiental, señala:

*“[...] entonces, se trabajó el tema de la Biotecnología como algo interdisciplinar, pero, también se miró algo de las aplicaciones de la Biotecnología, dependiendo la intencionalidad de la aplicación de la Biotecnología pues se deriva en Biotecnología vegetal, ¿qué tipo de trabajos en Biotecnología se hacen en Biotecnología vegetal?, como por ejemplo plaqas, como por ejemplo pesticidas, ¿sí?, cómo hacerla más resistente; o la Biotecnología alimenticia, alimentaria, que es cómo elaborar alimentos enriquecidos, o sea nutricionalmente hablando, ¿cierto?, y funcionales, utilizando microorganismos, o enzimas que ellos produzcan...” (Clase P2.C1.1).*



**Figura 18.** Carteleras empleadas por el profesor Tomás durante la primera clase

En este sentido, cuando pasa a la segunda cartelera, Tomás también acude a ejemplos, con los cuales trata de dar una idea a los estudiantes acerca del trabajo en un laboratorio de Biotecnología vegetal, entre los cuales menciona el uso de la bata de laboratorio para evitar la



contaminación cruzada y el uso de equipos como la autoclave y la cámara de flujo laminar, buscando relacionar la información que presenta con situaciones cotidianas para los estudiantes en el contexto escolar, como podemos ver en el siguiente fragmento:

*“[...] se requiere una asepsia, como todo laboratorio pues hay que controlar el tema de la contaminación cruzada, de todos los agentes que puedan de alguna manera alterar mi trabajo experimental, entonces, por eso, hay unas zonas que se han demarcado dentro de un laboratorio general, un laboratorio que trabaje por ejemplo Biotecnología vegetal, pues debe tener en primer lugar una zona de recepción o de ingreso, como yo les decía a ustedes, antes de ingresar a un laboratorio, pues uno lleva su batica, sí, la bata incluso, ustedes saben que la deben llevar dobladita, limpia en una bolsita, y cuando vayan a entrar al laboratorio se la colocan, ¿sí?, pues para evitar, porque si cojo la bata para ir a la cocina, o para ir al restaurante, o para otras cosas y llego al laboratorio, pues estoy llevando contaminación, exacto, entonces esa zona de ingreso es fundamental...” (Clase P2.C1.2).*

En su exposición de la tercera cartelera Tomás acude a ejemplos con los cuales intenta ilustrar qué se entiende por bioseguridad, cuáles son los alimentos genéticamente modificados, sus impactos y la regulación necesaria para su introducción en el mercado. Explicaciones que conllevan a que los estudiantes realicen preguntas acerca de los alimentos genéticamente modificados en su cotidianidad, las cuales son atendidas y solucionadas por el profesor, en un diálogo en el que se aproximan y desarrollan distintos contenidos de enseñanza, a través de situaciones que posibilitan la construcción de significados por parte de los estudiantes, como podemos ver a continuación:

*E.1: Que pena profe, pero es que más o menos sobre ese tema, hoy salió en las noticias sobre una intoxicación de cuatro personas con una yuca amarga, o sea, hasta donde tengo entendido la yuca pues es normal, pero, que esta yuca es amarga debido a que tiene mucho, es que se me olvidó cuál es el producto que tiene, eh, cianuro, creo que es cianuro*

*P.2: Sí, es cianuro, sí claro*

*E.1: Entonces fueron cuatro intoxicaciones, pero mi pregunta es, ¿esa yuca es modificada?*

*P.2: No pues, no sé ese tipo de yuca, pero sé que con yuca, con ñame, se está trabajado desde el punto de vista de la Biotecnología, ¿sí?, por ejemplo, se ha usado la técnica in vitro, para propagar por ejemplo ñame, ¿cierto?, eh, habría que mirar qué variedades de yuca se están produciendo en el tema de aplicaciones biotecnológicas, eh, pero obviamente en el caso de la noticia que tu escuchaste no necesariamente es porque fue producto del trabajo biotecnológico, habría que indagar un poco más, que había, qué hubo en el suelo, eh, ¿sí?, qué variedad de yuca era, etcétera, pero claro, eso es delicado [...]*

*E.2: Profe, tengo una pregunta*

*P.2: Sí, dime*

*E.2: Entonces ¿cuál es el fin de que modifiquen genéticamente los alimentos, si no...?*

*P.2: Eso, para aumentar su valor nutri, nutricional, hacer alimentos que sean funcionales, por ejemplo, hay alimentos que a las personas les caen pesados, por decir algo, hay yogures, por ejemplo, ¿sí?, para la digestión. Sin embargo, se han elaborado yogures probióticos o prebióticos, que...*

*E.2: Ah, o sea, como cuando hacen la leche deslactosada y esas cosas*

*P.2: Bueno, digamos en términos es que no le vaya a hacer daño, debe haber una enzima que me ayuda a digerir mejor el alimento, o un microorganismo que me ayuden*

*E.2: Pero esos alimentos se pueden, o sea, no pueden durar mucho tiempo ahí, ¿no?*

*P.2: Ya como todo alimento tiene unas condiciones para mantenerlo, y hay unas fechas de vencimiento también, si hay microorganismos presentes, pues igual, uno tiene que saber qué tipo de microorganismos está allí, que por la temperatura pueden crecer*

*E.2: ¿Y la comida enlatada está modificada genéticamente?*

*P.2: ¿La comida qué?*

*E.2: La comida enlatada*

*P.2: La comida enlatada, digamos que ahí hay otros procedimientos que tienen que ver con conservantes, preservantes, ¿sí?, para mantener esa comida pues digamos que por un periodo de...* (Clase P2.C1).

Finalmente, y a través de la exposición de la última cartelera, Tomás presenta situaciones con las cuales contextualiza a los estudiantes respecto a las células madre y la clonación.

Cabe señalar entonces que las preguntas retóricas, así como los ejemplos a los que acude Tomás, son parte de la estrategia de enseñanza expositiva que el profesor realiza en esta clase, ya que al estar relacionados con situaciones que posiblemente sean de la cotidianidad de los estudiantes, les permiten establecer relaciones con la nueva información presentada.

De igual manera, durante el primer episodio de la segunda clase, Tomás, hace un repaso o recuento a manera de exposición acerca de algunos de los temas abordados en clases anteriores, entre ellos la definición de Biotecnología, manifestando que el término Biotecnología siempre va a estar presente en las clases, y que se están acercando a mirar qué es realmente la Biotecnología.

Continuando con su discurso, Tomás se refiere a uno de los ejercicios desarrollado en alguna clase anterior, en el que solicitaba a los estudiantes indicar, en una lista de procesos, cuáles de ellos correspondían a procesos biotecnológicos. El profesor acude luego a una situación de la cotidianidad colombiana, la preparación de una arepa, y pregunta si hacer una arepa será un proceso biotecnológico, lo cual desencadena un diálogo entre él y varios de los estudiantes acerca de lo que entienden por procesos biotecnológicos y al mismo tiempo por Biotecnología; diálogo en el que el profesor hace distintas clases de preguntas, en su mayoría retóricas y

abiertas, aunque también cerradas y gerenciales, a través de las cuales se generan discusiones alrededor de lo que significan la Biotecnología y un producto biotecnológico, como podemos ver a continuación:

*"P.2: [...] ¿si nosotros hacemos arepas, será un proceso biotecnológico?, ¿una arepa?"*

*Estudiantes (algunos): No*

*Estudiantes (algunos): Sí*

*P.2: ¿No? o ¿Sí?*

*E.5: Sí porque es la mezcla de harina con agua*

*P.2: Bueno, ¿y eso qué tiene que ver con la Biotecnología?, ¿tú dices que eso es Biotecnología?*

*E.5: Sí*

*P.2: ¿Por qué?*

*E.5: porque son los elementos distintos que se mezclan y se hace...*

*P.: Sí, es una mezcla, pero, para que sea Biotecnología, ¿qué tiene que haber?*

*E.5: Pues...*

*P.2: ¿Qué tiene que haber?*

*E.5: Los procesos que*

*E.6: A mí se me hace que no es solo la masa, porque por ejemplo cuando uno le echa mantequilla*

*P.2: Bueno, esa es la elaboración de una arepa, pero, la pregunta es: ¿hacer una arepa es, digámoslo así, un procedimiento de la Biotecnología?, o sea, ¿es propio?, digamos, ¿eso se puede considerar como, como un hacer de la Biotecnología?*

*E.7: Sí*

*P.2: ¿Hacer una arepa?*

*E.7: Sí porque si se muele el maíz peto para hacer la masa*

*P.2: ¿El maíz peto?, ¿y por eso es Biotecnología?, ¿o más bien eso son alimentos, o es ingeniería de alimentos, o es cocina?, o sea lo que yo quiero es que me aterricen, ¿por qué llamamos algo como un producto de la Biotecnología?*

*E.8: Pues para mí profe, que no es Biotecnología, más bien es un proceso, o sea*

*P.2: Ya*

*E.8: Para mí. Pero si me pongo a analizar de pronto, si yo fuera a hacer una arepa con queso tengo que fabricar el queso*

*P.2: Ok*

*E.8: Para poder hacer la arepa, y sería Biotecnología*

*P.2: Ya, bueno, está bien el planteamiento [...] ¿Y qué tal ese maíz haya sido producto de una alteración en su genética?, es decir, de una transferencia de genes, de un mejoramiento genético de esa planta y es un maíz transgénico, ¿sí?, y entonces que se hizo con ese maíz transgénico la harina, y pues, se deriva de una planta transgénica, entonces, eso depende de cómo lo esté abordando uno, como dice el compañero, si se entiende arepa por arepa o si vamos a mirar qué hay detrás de la arepa, de sus ingredientes, de dónde salieron los ingredientes, entonces, es*

*importante por favor antes de que den una respuesta rápida que piensen que cuando hablan de Biotecnología, necesariamente están incorporando allí seres vivos, siempre, o, si no es la bacteria, o el ser vivo que esté allí, por lo menos sustancias que se deriven de ellos, ¿sí?, eso es importante para que uno pueda catalogar si algo es Biotecnología o no lo es...” (Clase P2.C2).*

En este sentido, podemos notar que, al partir de la elaboración de una arepa, una situación de la cotidianidad en el contexto cultural colombiano, el profesor planteó un escenario en el que a través de las preguntas empleadas encauzó el discurso hacia puntos o ideas de interés, indagó las concepciones de los estudiantes acerca de los procesos biotecnológicos, propició la discusión y el contraste entre él y los estudiantes acerca de las características de la mezcla con la que se preparan las arepas y una de las características fundamentales de la Biotecnología, y por tanto de los procesos biotecnológicos: la participación de los seres vivos como mediadores de los procesos de producción, discusión en la que los estudiantes justificaron sus posiciones, dando lugar a una negociación de significados, y por tanto a la construcción de aprendizajes significativos (Moreira, 2012).

De manera general, podemos decir que, siendo muy pocas las preguntas cerradas, y más frecuentes las preguntas abiertas, durante el episodio, Tomás propició la participación de los estudiantes en un diálogo alrededor de la elaboración de una arepa y su relación con un proceso – producto biotecnológico, en el que fue posible para los estudiantes reflexionar y discutir al respecto, co-construyendo de esta forma el conocimiento a través del debate productivo (Chin, 2007).

Durante el segundo episodio de la clase, Tomás continúa su relato discursivo, esta vez, acerca de la historia de la Biotecnología, relato que organiza atendiendo a las generaciones establecidas en la cartilla del IBUN (de la cual hablaremos más adelante). Así, cabe señalar que a través del relato Tomás también hace preguntas con las que busca interactuar con los estudiantes y al mismo tiempo indagar - evaluar conocimientos previos escolares.

En cuanto a las preguntas realizadas por el profesor, podemos mencionar que algunas preguntas fueron cerradas y orientadas a la descripción de fenómenos, por ejemplo, en relación con los antibióticos y que una vez los estudiantes le contestan, el profesor, amplía o desarrolla la información, buscando establecer relaciones entre la Biotecnología y la mediación de los microorganismos (como representantes de los seres vivos) en los procesos biotecnológicos.

Es interesante señalar además que durante su discurso el profesor acude a ejemplos relacionados con situaciones de la vida cotidiana, a través de los cuales busca que los estudiantes puedan dar sentido a los términos que introduce. Así, por ejemplo, presenta información a los estudiantes

sobre los avances de Pasteur en cuanto al estudio de los microorganismos y lo relaciona con la pasteurización de la leche.

*“[...] para poder ehhh, descontaminar o inactivar los microorganismos, y fíjense que el nombre de pasteurización que usamos por ejemplo en el tema de la leche, de hecho, pasteurizar viene de Pasteur, ¿sí?, porque realmente él en esa parte aportó, procedimientos térmicos, precisamente para inactivar estos microorganismos, ¿sí?, con las temperaturas”.*

A continuación, Tomás realiza una exposición acerca de los tipos de Biotecnología de acuerdo a su clasificación por colores. Durante la exposición el profesor hace uso de las carteleras elaboradas por un estudiante que no asistió ese día a clase y que era el encargado de realizar la exposición del tema.

Así, a través de esta exposición Tomás acude a ejemplos y situaciones de la vida cotidiana con las que busca aproximar a los estudiantes a algunos conceptos relacionados con la clasificación de la Biotecnología por colores, al mismo tiempo que realiza varias preguntas, con las cuales organiza su discurso y lo dirige hacia algunos conceptos que considera de interés.

Así, por ejemplo, en relación con la Biotecnología azul el profesor acude a un ejemplo sobre las cremas basadas en algas que hacen parte de la cosmetología, con el que busca acercar a los estudiantes con los procesos incluidos dentro de esta Biotecnología, y cuando habla de la Biotecnología gris emplea tanto una pregunta retórica como un ejemplo, con los cuales señala que desde la Biotecnología se pueden tratar las aguas residuales empleando bacterias.

Vale la pena señalar, además, que la estrategia de enseñanza expositiva desarrollada por Tomás en esta clase, posibilita la participación de los estudiantes a través de preguntas que surgen de los ejemplos a los que el profesor se refiere en su discurso, las cuales al ser atendidas por el profesor conllevan a la construcción de significados, como podemos ver a continuación:

*“P.2: Y la gris está pues relacionada con el tema ambiental, o sea, por ejemplo, ¿cómo desde la Biotecnología podemos tratar el tema de los residuos, de las aguas residuales, descontaminar, ehh, las aguas?, ¿cierto?, ehh, como mirar bacterias que nos ayuden en esos procesos.*

*E.7: ¿Profe, ahí también se utilizan las bacterias?*

*P.2: Sí, hay unos tratamientos de aguas con unas bacterias hay un tipo de bacterias, dependiendo del tipo de agua a tratar, los metales que estén allí presentes, las bacterias ayudan a...*

*E.7: ¿Entonces se combaten bacterias malas con bacterias buenas?*

*P.2: Claro que, para usar un tipo de bacterias con un propósito específico, es porque ya se han hecho ensayos, que tipo de célula bacteriana se maneja, no cualquier tipo de bacteria nos va a funcionar, ¿sí?, eso es importante”* (Clase P2.C2).

A continuación, Tomás propone una actividad, en la que los estudiantes, trabajando en grupos de 4 estudiantes deben clasificar una serie de proposiciones o enunciados asociados a productos o procesos biotecnológicos atendiendo a las clases de Biotecnología por colores y luego exponer su justificación. Los estudiantes hacen varias preguntas, inicialmente acerca de las instrucciones de la actividad, y luego acerca de ciertos conceptos. Esto último posiblemente debido a que las frases consignadas en los “papelitos” hacen referencia a conceptos y procesos poco familiares para ellos, quienes, ante tal situación hacen preguntas al profesor, buscando una mayor comprensión al respecto, que les permita desarrollar el ejercicio propuesto.

A raíz de las preguntas que los estudiantes hacen al profesor, él también hace preguntas, algunas de las cuales le permiten dirigir sus respuestas hacia ideas que considera de interés, en la construcción de los conceptos implicados, como en los siguientes casos:

*P.2: ¿tú has visto cuando hay derrames de petróleo en el mar?, por ejemplo.*

*E.13: A sí, sí, sí*

*P.2: Ehh, ¿pues qué sucede?*

*E.13: Los limpian*

*P.2: Pues contaminan esos ecosistemas, y entonces mueren los peces, pero sí hay formas de recoger ese petróleo, por lo menos en gran parte, ¿sí?*

*E.13: Jhmmm, sí, ya*

*P.2: Entonces aquí, aquí, están hablando de otros elementos que es, aislamiento y eliminación de diferentes sustancias, entonces, lo que estamos hablando, metales pesados e hidrocarburos, entonces, aquí están hablando de un tratamiento, precisamente para descontaminar esas aguas residuales.*

*E.13: Ya” (Clase P2.C2.4)*

Finalmente, y de acuerdo a las indicaciones del profesor, los estudiantes van pasando al frente por grupos y van pegando en el tablero cada “papelito” debajo del color en el que consideran corresponde su información. El profesor indaga a través de preguntas abiertas, las razones por las cuales los estudiantes realizan tal clasificación. Hacer esta clase de preguntas le permite direccionar las respuestas de los estudiantes hacia el principal contenido de enseñanza, que corresponde a los criterios de clasificación de la Biotecnología por colores. Así, una vez los estudiantes responden, el profesor, amplía o desarrolla la relación establecida entre la información asignada y el color de la Biotecnología, ampliando las razones por las que la clasificación realizada es correcta o incorrecta. Podemos decir así que con esta actividad Tomás logra reforzar los lazos y relaciones conceptuales entre la información presentada para su aprendizaje y ciertos conocimientos previos de los estudiantes.

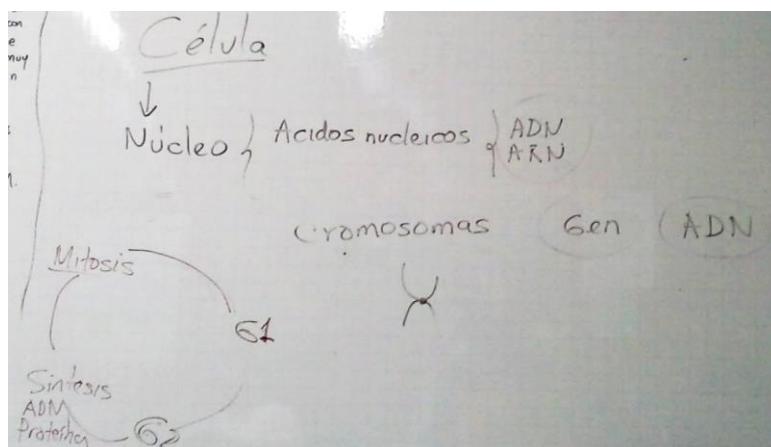
De otra parte, podemos mencionar también que, en la cuarta clase, Tomás realiza una enseñanza expositiva, con la que aborda la historia de la Biología Molecular, a través de una exposición apoyada en la presentación de unas diapositivas, las cuales no son de su autoría y fueron obtenidas durante el diplomado que realizó con la ACAC en el año 2016.

Durante su presentación, el profesor hace preguntas retóricas y acude a ejemplos con los cuales ilustra algunos aspectos estudiados por ésta ciencia: la influencia del ambiente en la variabilidad de las especies y la historia biológica (cambios) de los seres vivos que hacen parte de la teoría de la evolución, con los que busca aproximar a los estudiantes a los fenómenos de los que habla durante su exposición.

*“P.2: [...] Nosotros no somos solo fruto de los genes de nuestros padres, de la información genética, sino del ambiente, ¿sí?, entonces, porque por ejemplo en Colombia hay regiones, porque hay negros, o morenos, indígenas, mestizos, o estas razas, esto es producto tanto de los genes como de la interacción con el ambiente [...] Entonces, cómo la teoría de la evolución nos dice, un momentico, los seres vivos tienen una historia, una historia biológica, y durante esa historia biológica que se puede evidenciar por ejemplo a través de los fósiles se ha mostrado cómo han ido cambiando los seres vivos” (Clase P2.C4).*

Finalmente, cabe mencionar que, al inicio de la sexta clase, Tomás realiza una explicación acerca del ADN y la replicación del ADN. En el transcurso de su explicación Tomás acude a varias actividades con las cuales aproximar a los estudiantes a los conceptos presentados, como la realización de preguntas y esquemas.

Así, inicialmente, Tomás refiere que están trabajando procesos celulares, por lo que a través de su discurso va elaborando un esquema en el tablero (Figura 19), con el que establece relaciones entre conceptos como célula, núcleo, ácidos nucleicos, el ciclo celular, los cromosomas, los genes, y el ADN.



**Figura 19.** Esquema realizado por Tomás durante la clase P2.C4

Vale la pena señalar que Tomás también acompaña su discurso con preguntas retóricas, abiertas y cerradas, y que las respuestas de los estudiantes proporcionan términos que Tomás incorpora al esquema que realiza, como podemos apreciar en el siguiente párrafo:

*“P.2: Bueno, entonces, retomando el tema, nosotros básicamente estamos analizando todo lo del ADN y la replicación del ADN, pero contextualizándolo precisamente en que estamos trabajando en unos procesos de carácter celular (**Escribe en el tablero célula**), a nivel celular, entonces la célula, como ustedes saben, tiene unas estructuras, unas funciones y un metabolismo, en el núcleo celular, que es donde nos estamos concentrando ahorita, encontramos los ácidos nucleicos, ¿cuáles son esos ácidos nucleicos? [...] (**Escribe en el tablero núcleo**), el núcleo está formado por una membrana nuclear, por un nucléolo, por el jugo nuclear, por la cromatina, ¿sí?, están los cromosomas, y ahí, encontramos ácidos nucleicos, está el nucléolo que contiene ARN, y está pues obviamente en el núcleo, la cromatina, en la que está el ADN, ya, que son los ácidos nucleicos, ahora, la cuestión es que ustedes diferencien uno de otro, sí, acá encontramos los ácidos nucleicos (**Escribe en el tablero ácidos nucleicos ADN ARN**) entonces, vamos a centrarnos en estos ácidos precisamente, diferenciando uno de otro. hay tres términos que son importantes relacionar, uno que ustedes aprendan a relacionar cromosomas, gen y ADN (**escribe en el tablero cromosomas gen ADN**), ¿quién me puede hacer la relación entre estos tres términos?, a ver, ¿cómo es que se relacionan estos tres términos?” (Clase P2.C6).*

La explicación de Tomás involucra además de las relaciones entre los conceptos que acabamos de mencionar, relaciones entre el ciclo celular y la mitosis y la consecuente formación de células hijas, que asocia con la duplicación del ADN y con los procesos de replicación, transcripción, traducción y síntesis de proteínas, los cuales a medida que va definiendo, va incorporando al esquema que realiza en el tablero, finalmente señala: *“entonces, digamos, comprendiendo un poco esto, ustedes van entendiendo cuáles son esas dinámicas que se dan a nivel de la Biología Molecular, porque esto es Biología Molecular, y luego comprender qué relación tiene eso con la Biotecnología, porque nosotros estamos hablando de Biotecnología, pero estamos hablando también del ADN, ¿sí?”*, dando paso a relaciones entre el estudio del comportamiento del ADN a nivel molecular y procesos biotecnológicos que involucran manipulación genética como la clonación y la producción de alimentos transgénicos.

- **Modelización**

Durante la tercera clase Tomás presenta a los estudiantes un taller al que denomina *taller sobre el ADN*, constituido por seis puntos, de los cuales hablaremos en el apartado de otras estrategias, pero que traemos a colación, dado que el sexto punto solicitaba a los estudiantes que trabajaran en grupo en el diseño de un modelo de la molécula del ADN y su replicación.



Durante esta clase, Tomás socializa a los estudiantes cada uno de los puntos del taller, de forma que, sobre el sexto punto indica que es un trabajo práctico y que lo que busca es que puedan trabajar en grupo sobre la consulta del ADN y el planteamiento de un modelo para que lo hagan con creatividad:

*“El sexto punto, por la experiencia de años anteriores ha sido muy interesante, porque es en lo posible que puedan trabajar en grupo, para que ustedes, una vez hagan la consulta de ADN, ustedes planteen un modelo y ustedes lo hagan con creatividad. Obviamente que uno no puede hacer un modelo digamos fuera de lo convencional. O sea, una molécula de ADN es una molécula de ADN y tiene unas características determinadas y una estructura determinada, pero donde está la creatividad de ustedes también, es en el uso de los materiales con lo que hagan esa molécula, ¿cierto?, que ustedes puedan de alguna manera hacer una propuesta de una molécula en la cual entender fácilmente las demás, en términos de su estructura” (Clase P2.C3).*

Así, señala, que va a haber un espacio para que cada grupo presente el modelo en una feria, en una exposición, y que va a ser algo participativo, porque la idea es que todos participen tanto a través de las preguntas que le hagan al grupo, como a través de las sugerencias frente al modelo, adicionalmente informa, que cuando regresen de la semana de receso va a hacer una clase de asesoría y revisión, de los avances de los modelos, para hacer sugerencias y presentarlos en la siguiente clase.

Durante la cuarta clase Tomás efectivamente abre un espacio para revisar los modelos elaborados por los estudiantes y enuncia que la actividad incluirá un ejercicio de autoevaluación. De acuerdo a las indicaciones y preguntas del profesor, la exposición se centra en describir la información que consultaron los estudiantes para poder construir el modelo y explicarlo, lo cual constituye un ejercicio orientado a la reflexión metacognitiva, con la que Tomás promueve la reflexión de los estudiantes respecto a la planificación, construcción y evaluación del modelo y a la correspondencia con las solicitudes concretas del profesor.

Observamos así que las exposiciones que Tomás plantea durante la clase se enmarcan en una estrategia de modelización, con la que el profesor, busca enseñar a los estudiantes a construir y comprender el modelo científico actual de la estructura del ADN, lo anterior cuando afirma que cada grupo fue autónomo en seleccionar cómo quería presentar su modelo, pero reitera que la segunda parte es que el modelo represente lo que se quiere explicar, es decir que se pueda usar el modelo, ya que es para sacarle todo el potencial como modelo, ir explicando, buscando cada partecita y cómo están ellas articuladas, y porqué están dispuestas de esa manera y no de otra.

Entre las preguntas que el profesor realiza a los estudiantes que exponen se encuentran: ¿cómo llegaron allá?, ¿cómo fue el proceso?, ¿cómo llegó a seleccionar ese tipo de modelo?, ¿qué tipo

de material usaron?, ¿qué fuentes de información consultó?, ¿cómo muestran la replicación?, ¿por qué el aluminio?

Al finalizar las exposiciones Tomás expresa: *“Bueno, entonces, de las presentaciones que hicieron los compañeros, podemos llegar a los siguientes, eh, no conclusiones, pero sí, elementos de reflexión”* (Clase P2.C4.5), con lo que da continuidad al ejercicio de reflexión que propuso inicialmente.

Tomás orienta así la reflexión hacia la importancia de trabajar en grupo, luego se refiere a la necesidad de consultar, leer y acercarse al tema para poder preparar la explicación del modelo y finalmente al manejo conceptual, haciendo referencia al uso adecuado de términos.

Durante la quinta clase Tomás recuerda a los estudiantes que en la sesión anterior revisaron los modelos teniendo en cuenta lo que hicieron y cómo hicieron el modelo, lo que les hacía falta y, sobre todo, la preparación para poder dar cuenta de la temática del ADN y su replicación. Señala entonces que durante la explicación del modelo deben hacer uso de una terminología científica (lenguaje científico) y que por lo tanto deben acudir a fuentes confiables. Les recuerda también que pueden ayudarse a través de un esquema, y que pueden escribir términos en el tablero para recordarlos mucho más fácil. Podemos decir entonces, que en esta clase lo que busca es que los estudiantes puedan utilizar el modelo construido para explicar la estructura y replicación del ADN.

A continuación, el profesor indica el orden en el que deben realizar las exposiciones: *“Vamos a dar un orden a la presentación para que no empiecen de atrás hacia adelante, entonces, lo primero es presentar el modelo, la estructura del ADN, porque eso es lo que ustedes hicieron. Entonces ustedes van a presentarle al público, como es su modelo, porque lo hicieron así, qué podemos observar en su modelo, ¿cierto?, del ADN y dejamos el tema dos que es el de la replicación al final, ¿sí?, para tener primero la estructura”* (Clase P2.C5).

Cabe mencionar que solo dos grupos trajeron sus modelos para dar cumplimiento al desarrollo de la actividad propuesta.

Durante las exposiciones, los estudiantes leen apuntes de sus cuadernos, relacionados con la estructura y la replicación del ADN, el profesor hace algunas preguntas, cerradas, orientadas a la repetición de información. Durante el transcurso de la segunda exposición uno de los estudiantes intenta relacionar lo que lee acerca de la estructura de la molécula del ADN con el modelo que está exponiendo, sin embargo, son evidentes las fallas conceptuales al respecto. Luego de hacer algunas preguntas orientadas a indagar por la comprensión de los estudiantes del tipo: *“Pero de acuerdo a lo que leíste ¿qué crees que hace la enzima helicasa?”*, Tomás establece que los estudiantes no prepararon la exposición y da paso al ejercicio de coevaluación, por lo que solicita a los estudiantes evaluadores que hagan sus respectivas preguntas.

Las preguntas que realizan los estudiantes que se han ofrecido como evaluadores constituyen una actividad que conlleva a la participación de otros estudiantes, quienes dialogan acerca del proceso de replicación del ADN y de la función del ADN.

Al finalizar las exposiciones Tomás realiza una actividad de retroalimentación, en la que inicialmente manifiesta que *“quiere rescatar algunos elementos de lo que expusieron los compañeros”*, al referirse al uso y características de los modelos, asociamos esta actividad a una retroalimentación de la modelización, tanto como contenido, como estrategia de enseñanza. Así, señala que *“es más fácil partir del propio modelo, porque es más fácil hablar de lo que se hizo”* y que se debe hablar acerca de los componentes del modelo, haciendo mención a las bases nitrogenadas y su complementariedad, al grupo fosfato, al azúcar desoxirribosa y a los puentes de hidrógeno; indicando así que se debe comprender que *“cada parte del modelo representa un componente de la estructura de la molécula del ADN”*. Adicionalmente, Tomás reitera la importancia de tener un orden para la exposición partiendo de la estructura del modelo.

De igual manera, en el transcurso de la sexta clase, Tomás solicita a los estudiantes que pasen a exponer señalando: *“entonces demos paso a la presentación de algunos modelos hasta donde alcancemos hoy y ya después abrimos un espacio para continuar con los que faltan, pero lo importante de pararse aquí es que con sus propias palabras usted pueda explicar algunos temas de los que les presenté”* (Clase P2.C6.2).

Una vez un grupo de estudiantes da inicio a la presentación de su modelo, Tomás les recuerda que deben tener un orden durante la exposición, y al mismo tiempo se refiere a la función de las convenciones en un modelo, en cuanto a la representación de los componentes que conforman la estructura y a la posibilidad de establecer diferencias entre una estructura y otra, como entre el ADN y el ARN.

*“Entonces digamos, si van a hablar del ADN, pueden empezar por las generalidades del ADN, ¿sí?, qué es el ADN, cuáles son sus funciones, después pasan a la estructura del ADN, entonces ya cojen el modelo y empiezan a explicarlo, ¿sí? El colocar colores, bolitas de colores, es solamente para poder diferenciar una base de otra, pero no es que en la realidad una base nitrogenada sea roja, no, o amarilla, o azul, no, es como tu representas esa molécula, ¿sí?, entonces, hablas de la estructura, de cómo se configura, y cómo se relacionan unas con otras, o sea, de cómo se relaciona una base nitrogenada con la otra, si va a hablar después del ARN entonces ya tu puedes hacer la diferencia entre la estructura del ADN versus la estructura del ARN, que hay de diferencia entre una y otra, por ejemplo, y ya digamos, si quiere, en el último punto habla de la replicación, ¿sí?, que en la replicación, como yo lo mencionaba, debes tocar también el tema de la transcripción, la traducción y la formación de proteínas, ¿sí?, pero es poniéndole un orden, bueno...”* (Clase P2.C6).

Cabe señalar que el profesor acompaña a los estudiantes que están exponiendo a través de preguntas abiertas y cerradas, con las cuales nuevamente evidencia vacíos conceptuales en los estudiantes que exponen.

Atendiendo a esta situación, acude a otra actividad de modelización, la realización de un gráfico, con el cual los estudiantes representen la replicación del ADN, la actividad queda como tarea, como podemos ver en el siguiente fragmento:

*“P.2: Bueno, entonces, volvemos a lo mismo, ¿no?, cuando uno no tiene claro un tema, cuando no hay comprensión de lo que pasa, entonces se queda corto, ¿cierto?, entonces, yo les voy a pedir, para la próxima clase, cada uno de ustedes, me va a traer en una hoja de examen, llámese hoja de examen o hoja blanca, me va a graficar, graficar, no copiar de un libro, me va a graficar cómo es que se replica el ADN, cómo lo entiende, una vez ya leído, ya consultado, me traen en una hoja, cada uno, es individual, o sea que no pueden traer dos hojas iguales” (Clase P2.C6).*

- **Visita a Corpoica**

Durante la segunda clase Tomás enuncia a los estudiantes que ya tiene una visita programada para el 18 de abril al centro de investigación Corpoica.

En la tercera clase, mientras socializa a los estudiantes las actividades del taller sobre ADN, Tomás también hace referencia a la salida pedagógica que harán al centro de investigación. Así, el profesor relaciona la visita con el taller, manifestando que al resolver dicho taller van a poder participar en la visita a través de la realización de preguntas. Enuncia que allí van a trabajar la extracción del ADN:

*“P.2: Si bien es cierto, el 18, el 18 de abril tenemos una salida a Corpoica, eso ya está registrado allá, ya los nombres de ustedes, ya los datos que se registraron en las planillas de Corpoica [...] Y allá uno de los puntos que vamos a trabajar es precisamente el tema de la extracción del ADN. ¿Cómo es que lo hacen? ya en un laboratorio, con toda la tecnología, con personas especializadas, formadas en este campo, entonces cómo es que lo hacen, y eso para qué sirve, entonces, por eso miren que ese taller tampoco es gratuito, es decir, es como para que ustedes vayan como preparándose para la visita, porque en las visitas uno no solo debe quedarse quieto esperando a que el otro hable, y escuche y escuche, sino que la idea es que ustedes también pregunten. Y una manera de preguntar es cuando yo tengo algo de conocimiento, tengo información sobre el tema. Si ya tengo algo de información entonces yo puedo participar, puedo hacer preguntas eh, interesantes, ¿cierto?, y la idea es esa” (Clase P2.C3).*

Efectivamente la visita se realiza el día 18 de abril, en horas de la mañana, a través de la gestión de Tomás con el centro de investigación y con el colegio para obtener el transporte para los

estudiantes de ida y regreso desde el colegio hasta el centro de investigación Corpoica - Tibaitata ubicado fuera de Bogotá, en el municipio de Mosquera. Cabe señalar que Corpoica, o Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, es una entidad descentralizada por servicios y de carácter mixto, encargada de generar conocimiento científico y soluciones tecnológicas a través de actividades de investigación, innovación, transferencia de tecnología y formación de investigadores, en beneficio del sector agropecuario colombiano.

En el centro de investigación, Tomás, junto a su grupo de estudiantes son recibidos por una funcionaria, encargada de dirigirlos a los distintos sectores que tienen programados visitar. De esta manera, los estudiantes visitan los módulos de Aeroponía, Agricultura Urbana y Periurbana y el Laboratorio de genética molecular.

En cada uno de estos módulos son atendidos por investigadores, quienes socializan a los estudiantes las finalidades de las investigaciones que se llevan a cabo y de una manera muy didáctica, les explican ciertas características de los equipos e implementos con los que desarrollan tales investigaciones, tal es el caso, por ejemplo, de la extracción de sangre de algunos de los estudiantes, para la obtención de su ADN, realizada por una joven investigadora del laboratorio de Genética molecular, quien, al final del recorrido, les entrega el ADN extraído en unos tubos eppendorf.

Esta visita tiene un impacto positivo en los estudiantes, en relación con su proceso de aprendizaje de la Biotecnología, en particular, en cuanto a la investigación sobre el ADN, es así, como durante la quinta clase, uno de los estudiantes que expone su modelo de la estructura del ADN, se refiere constantemente a los contenidos abordados durante la visita, los cuales trae a colación y le permiten complementar la presentación que realiza, como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

*“E.4: Ok, bueno, entonces, esta es la molécula del ADN, la molécula del ADN está conformada por la columna de azúcares fosfatos que son los de estos lados, si los pueden ver, y este par de bases, que son Guanina, Citosina, Timina y Adenina, se diferencian por el color, pues las moléculas de ADN no tienen colores, cuando se mira la molécula de ADN, como ya todos sabemos, los que fueron a Corpoica, la molécula de ADN se tiene que aplicar unos pigmentos para que separe la Guanina, la Timina, la Citosina, para identificar cada quien su molécula de ADN, ehh, pues, creo que ya todos tienen muy claro cómo es la molécula de ADN porque ya todos hicieron su ejemplar [...] También tenemos en claro que cuando, me acordé, que allá en Corpoica aprendimos a que se mira la molécula de ADN y sí, se busca, o se identifica una bacteria, un virus, o la gripe, lo que sea, el cáncer [...] Todo está en las bases nitrogenadas” (Clase P2.C4).*

Ese mismo estudiante explica la replicación semiconservativa a partir del modelo que elaboró, así, se refiere a los colores de las bases nitrogenadas, las cuales dice no tienen colores, pero puso

de diferentes colores para poderlas distinguir, y a la posibilidad de girar y retirar parte de la estructura, lo cual dice sucede durante el proceso de replicación del ADN y asocia con la información brindada durante la visita, en cuanto a estudiar segmentos específicos de la molécula del ADN.

De igual manera, durante la cuarta clase, en la que el profesor aborda la historia de la Biología molecular, se refiere al año 1977, en el que surge la secuenciación y al año 1983, en el que aparece la técnica de la PCR, reacción en cadena de la polimerasa, indicando que eso fue algo que vieron en la salida a Corpoica, en cuanto a la amplificación de los segmentos de ADN.

En esta misma clase el profesor retoma la visita, al solicitar a los estudiantes que elaboren una cartelera sobre la visita, y preguntarles: *¿qué significó para ustedes esa visita?, y ¿qué de pronto, qué cosa le gustó más de la visita?*, con lo que genera un diálogo entre él y varios estudiantes, que posibilita, como ya mencionamos, abordar contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, pero más importante aún, reflexionar sobre la importancia de estas visitas para ellos como estudiantes jóvenes y adultos de la jornada nocturna, en cuanto poder conocer escenarios reales de investigación Biotecnológica, así como los múltiples temas de investigación desde un escenario de aprendizaje escolar, como podemos notar en el siguiente fragmento:

*“E.12: Profe, pues a mí me pareció, me pareció un lugar bastante agradable, digamos yo fui, y me pareció bueno la parte en la que nos dijeron que somos la única jornada nocturna del país que puede asistir a un lugar de estos, sí, o sea, y no, todo. Y me pareció muy bien esta señora que estaba como tratando de sacar la cura contra el virus del,*

*E.11: De la piña*

*E.12: No sé había uno que estaba haciendo la cura contra el virus de la caña*

*E.8: Sí de la caña*

*E.12 Exacto, o sea, y ella como que, estudiar es severo sí*

*[...] P.2: Que rico. Miren, de verdad yo les digo una cosa muchachos, estos espacios que yo estoy tratando de buscarles para ustedes es para que les impacté en su vida, para que vean otras formas de trabajar la ciencia y que el conocimiento que uno deja en el aula de clase no es un conocimiento muerto, sí, que tiene un valor, y tiene una utilidad, ¿sí?, y que bueno que se den ustedes esta oportunidad de visitar estos escenarios de aprendizaje porque por su cuenta va a ser muy difícil que digan me voy a ir a Corpoica, si no es a través de un trabajo académico del colegio, entonces es muy difícil...” (Clase P2.C6).*

De lo anterior interpretamos finalmente, que el uso de salidas pedagógicas como la visita a Corpoica, que realiza Tomás como estrategia de enseñanza de la Biotecnología, posibilita el acercamiento de los contenidos de enseñanza abordados durante las clases en el aula, al mismo

tiempo que potencia las habilidades de los estudiantes como estudiantes de jornada nocturna, motivándolos a incorporar la Biotecnología en su formación académica y laboral.

- **Otras estrategias**

Dentro de las diferentes estrategias de enseñanza empleadas por el profesor Tomás encontramos dos talleres relacionados con el ADN y la Biotecnología agrícola, el uso de una cartilla elaborada por el IBUN, así como la mención de un curso de manipulación de alimentos.

De esta manera, respecto a los talleres, cabe recordar que en la tercera clase Tomás propuso a sus estudiantes el desarrollo de dos talleres, el primero, sobre el ADN y el segundo sobre Biotecnología agrícola.

Así, Tomás divide esta clase en dos partes, en la primera hora socializa el taller sobre el ADN, y en la segunda presenta el taller sobre Biotecnología agrícola, dando tiempo para que los estudiantes lo puedan solucionar.

Vale la pena señalar que cuando Tomás socializa los puntos del taller, establece relaciones explícitas entre cada ejercicio y el conocimiento biotecnológico, haciendo mención principalmente a la necesidad de comprender los procesos de replicación, transcripción y replicación del ADN, estudiados por la Biología molecular, y las posibilidades de manipulación genética, que asocia a la Biotecnología. El segundo punto consiste en precisar los términos cromosoma, gen, genoma, ARN y mutación. Al respecto señala que es importante comprender esos términos porque los van a estar manejando en el desarrollo de la temática de la Biología molecular. Respecto al tercer punto señala que los procesos de transcripción y traducción del ADN son muy importantes en el trabajo de la Biotecnología, por lo que deben conocerlos, como podemos ver en el siguiente fragmento:

*“[...] cuando hablamos de cromosoma, de gen, de genoma, de ARN y de mutación. Ya van a ver cómo esos términos los vamos a estar manejando en el desarrollo de la temática de la Biología Molecular, entonces es importante comprender bien estos términos. Y en tercer lugar son dos procesos muy importantes que en Biotecnología se trabajan, obviamente una persona que trabaja en Biotecnología debe conocer estos procesos del ADN, tanto la transcripción como la traducción, ¿sí? son procesos que poco a poco vamos a irlos viendo, pero por ahora quiero que se acerquen a esa consulta, igual ustedes tienen que diferenciar un mecanismo del otro.”* (Clase P2.C3.1).

Frente al cuarto punto señala que el tema de la replicación del ADN tiene incidencia en los trabajos en Biotecnología, al mismo tiempo que hace a sus estudiantes varias preguntas retóricas

con las que plantea conceptos asociados a la replicación del ADN como conceptos estructurantes de la Biología molecular, que al mismo tiempo son estructurantes para la investigación en Biotecnología.

Respecto al quinto punto les recuerda a los estudiantes que están en un proceso de manejar una terminología, en este caso muy especializada, en el campo de la Biotecnología y de la Biología como tal, de lo que subyace la importancia que el profesor da al uso del lenguaje científico por parte de sus estudiantes.

En cuanto al modelo del ADN del sexto punto indica a los estudiantes que no se puede hacer un modelo fuera de lo convencional, ya que la molécula de ADN tiene unas características y estructura determinadas, solicitándoles que cuando hagan el modelo del ADN también representen cómo se replica.

Vale la pena señalar que este taller queda propuesto para que sea solucionado por los estudiantes en el cuaderno durante la semana de receso escolar de semana santa, y posteriormente discutido, en una sesión de clase.

Respecto al taller sobre Biotecnología agrícola el profesor indica a los estudiantes que deben realizar una lectura y responder diez preguntas de selección múltiple con única respuesta que están planteadas en el mismo material que les va a entregar. Les solicita también que escriban en una hoja un párrafo con cada conjunto de términos escritos en el tablero, lo cual constituye una actividad de construcción de textos, que el profesor emplea para fomentar las habilidades de lectura y escritura de textos científicos de los estudiantes.

Cabe mencionar que mientras los estudiantes desarrollan las actividades propuestas, el profesor los llama en orden de lista para revisar y calificar el cuaderno y la cartilla de Biotecnología; durante la solución del taller los estudiantes realizan preguntas al profesor relacionadas con las actividades y también con los contenidos de enseñanza, las cuales son atendidas por el profesor.

De otra parte, cabe señalar que, durante algunas de las clases Tomás acudió al uso de una cartilla elaborada por el IBUN para la enseñanza de la Biotecnología en la escuela (Apuntes sobre Biotecnología, Bioseguridad y Bioética para la Escuela – Un instrumento de incorporación curricular del componente de bioseguridad en la Educación Media), al que él denominaba Cartilla de Biotecnología.

Es así como, durante las clases solicitó a los estudiantes que solucionaran las actividades de las lecciones 1 y 2 de la cartilla, tituladas, ¿Qué es la Biotecnología? y ¿Cómo surge la Biotecnología?, respectivamente, así como las actividades de la unidad 3, titulada ¿Cuál es el papel de la célula en la Biotecnología?, en la que puntualmente solicita a los estudiantes que lean y subrayen los términos que desconozcan, que sintetizen la lectura y que resuelvan las actividades propuestas:



*“P.2: Bueno, por favor, van adelantando la unidad número tres de la cartilla de Biotecnología, el tema de esa unidad es la célula para explicar los procesos de fermentación, para explicar los procesos de fermentación, y allí va a explicar, sí, hay una introducción al ADN, también en esa unidad [...]La tres tiene mucha fundamentación, o sea una teoría bastante importante. Yo les he dicho que lean, subrayen también los términos que desconozcan [...] Ehh, en la dos nos hablan de las generaciones de la Biotecnología, la historia de la Biotecnología, en la tres hablan sobre la célula, entonces ahí es donde necesito que hagan una buena lectura, sintetícenla, la escriben en el cuaderno y las actividades programadas en la unidad las pueden resolver ahí mismo en la cartilla, ¿de acuerdo?” (Clase P2.C3).*

Como ya hemos señalado, el profesor Tomás contó con el apoyo de integrantes del IBUN para la formulación del proyecto del énfasis en Biotecnología, lo que le permitió tener acceso a la cartilla en mención y emplearla durante sus clases como material teórico, con el cual profundizar en algunos contenidos de enseñanza.

En este sentido, vemos como, durante la segunda clase, en la que realiza una exposición sobre la historia de la Biotecnología, el profesor organiza su presentación atendiendo a las cuatro generaciones en las que según la cartilla del IBUN se ha dividido históricamente la Biotecnología:

*“P.2: Bueno, entonces, fíjense como pues con estos ejemplos estamos mirando cómo la Biotecnología ha trascendido desde esa generación, que la llaman en la unidad 2, de la generación, de la generación que es tradicional, hacia una, donde hay avances de la ciencia y la tecnología, en el siglo XIX” (Clase P2.C2)*

Adicionalmente, cabe señalar que, durante algunas de las clases observadas, Tomás hizo referencia a un curso de manipulación de alimentos, que, según él, les iba a dictar un ingeniero, estudiante de él de alguna universidad, sin embargo, dicho curso no se realizó en el transcurso del semestre en el que observamos la práctica docente del profesor.

El panorama anterior acerca de las estrategias de enseñanza nos permite señalar finalmente, que Tomás hace un amplio uso de su conocimiento sobre las estrategias de enseñanza de la Biotecnología, reflejado en la presencia de relaciones entre este componente del CDC y los otros componentes y en la alta frecuencia de las relaciones establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, en relación con el total de relaciones (Figura 17), lo que lleva a que sea uno de los componentes mayoritarios del CDC en acción del profesor Tomás.

A partir de la descripción que acabamos de realizar, podemos ver que en las clases del profesor Tomás predomina la interacción verbal con los estudiantes, en la que, a diferencia de una estrategia de enseñanza tradicional, más allá de la simple transmisión de información por parte del docente, se da lugar a diferentes actividades con las que Tomás persigue que los estudiantes comprendan los contenidos de enseñanza a través del establecimiento de relaciones entre lo que

ellos ya conocen y los conceptos que quiere que ellos aprendan. En ese sentido, y de acuerdo al marco teórico previamente presentado, nos inclinamos por señalar que durante algunas de las clases de Tomás ocurre una enseñanza expositiva, en la que, al interior de su discurso aparecen preguntas con diferentes funciones didácticas, ejemplos asociados a situaciones contextuales, y actividades orientadas a reforzar los lazos tendidos entre los conocimientos previos de los estudiantes y los contenidos de enseñanza.

De otra parte, el hecho que Tomás suela realizar salidas pedagógicas con sus estudiantes, como la visita a Corpoica, nos lleva a reconocer la posibilidad de que, a través de esas estrategias de enseñanza, los estudiantes, encuentren sentido a los contenidos abordados en el aula y al mismo tiempo reconozcan diferentes proyectos de investigación biotecnológica desarrollados en Colombia.

Así, cabe señalar que tanto la salida pedagógica realizada, como la estrategia de modelización y el uso de la cartilla editada por el IBUN, dan cuenta de la coherencia de las actividades y estrategias planteadas por Tomás durante su proceso de enseñanza de la Biotecnología.

En términos de la complejidad de la relación Estrategias a Contenidos, que corresponde a la relación más frecuente entre todas las clases de relaciones encontradas, cabe señalar que, en tres de las clases la complejidad es de referencia (clases 1, 2 y 4), mientras que, en las otras tres clases, la complejidad es intermedia (clases 3, 5 y 6) (ver figura 15).

En este sentido, podemos decir que la complejidad de referencia se debe principalmente a que, a través de las estrategias de enseñanza expositiva y modelización, en varios de los episodios Tomás acude a ejemplos con los que busca presentar de la manera más clara posible y al mismo tiempo contextualizar los contenidos de enseñanza, los cuales están relacionados con aspectos epistemológicos, históricos y sociológicos de la Biotecnología, como en el caso de las aplicaciones y las clases de Biotecnología, que aborda en su discurso de la clase 1, y que le lleva a presentar y desarrollar contenidos asociados a los cultivos genéticamente modificados y a los cultivos *in vitro* como una técnica biotecnológica, entre otros, a través de ejemplos en los que hace evidente el impacto de la Biotecnología en la sociedad. En ese orden de ideas, también cabe mencionar la función didáctica de las preguntas que realiza el profesor Tomás, a través de las cuales, logra establecer diálogos entre él y los estudiantes orientados a la construcción de los conceptos Biotecnología y procesos biotecnológicos, a partir de situaciones de la cotidianidad, como en el caso de la clase 2.

De otra parte, es importante mencionar que, desde nuestra interpretación, la modelización fue a la vez estrategia de enseñanza y contenido de enseñanza. En cuanto a su uso como estrategia de enseñanza, durante la clase 4, podemos decir que Tomás busca aproximar a los estudiantes a las características y las funciones de los modelos científicos en general, y de aquellos relacionados

con la estructura y la replicación del ADN, aceptados por la comunidad científica, y al mismo tiempo, dar cuenta de la interdisciplinariedad de la Biotecnología, al hacer un llamado respecto a la relación entre los contenidos de la Biología molecular que están aprendiendo y los procesos y aplicaciones de la Biotecnología. En esta clase, Tomás, además, hace un ejercicio de metareflexión encaminado al establecimiento de las fortalezas y debilidades del proceso de construcción de los modelos elaborados por los estudiantes.

De esta manera, podemos ver, que los contenidos abordados a través de las estrategias de enseñanza, incluyen no sólo conceptos, sino también aspectos de orden epistemológico, metareflexivo y sociocientífico, que conllevan a una complejidad de referencia y que deriva de la postura tecnocientífica, que prevalece en el profesor Tomás.

En cuanto a la clase 3, podemos ver, que la estrategia de taller empleada, está orientada principalmente a la fundamentación teórica de contenidos relacionados con la naturaleza del ADN y con la Biotecnología alimentaria y la importancia de la comprensión de lectura de textos científicos, por lo que la complejidad es intermedia; sin embargo, cabe resaltar que el profesor no se limita a presentar las actividades del taller, sino que explica y justifica cada una, dándoles sentido en relación con contenidos tópicos específicos de la Biotecnología. En las clases 5 y 6, si bien prima la estrategia de modelización, la mayor parte de las exposiciones de los estudiantes no dan cuenta de su apropiación, lo cual lleva a Tomás a desarrollar parte de los contenidos asociados a los modelos, estableciendo algunas relaciones con la Biotecnología, pero sin hacer cuestionamientos, ni problematizar.

Sin embargo, es importante notar que en el mapa consolidado del CDC en acción de Tomás (Figura 16) la relación Estrategias a Contenidos, tiene una complejidad promedio con un valor de referencia, resultado del promedio de las frecuencias y complejidades de este tipo de relación de las 6 clases sistematizadas.

#### **4.2.2.1.4.3 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza**

La información de la figura 17 nos deja ver, que, en el CDC en acción de Tomás, un 17,5% del total de las relaciones son establecidas por el componente Propósitos de enseñanza, lo cual conlleva a que éste componente desempeñe un papel importante en la integración de los demás componentes.

A través de la sistematización de las clases del profesor Tomás encontramos propósitos de enseñanza relacionados con la enseñanza de contenidos acerca de la naturaleza de la Biotecnología, en términos de aspectos epistemológicos e históricos, así como acerca de relaciones ciencia, tecnología y sociedad en la Biotecnología. También encontramos propósitos

relacionados con las estrategias, el conocimiento de los estudiantes y la evaluación. A continuación, describiremos nuestros principales hallazgos.

De esta manera, podemos señalar que durante la primera clase Tomás expresa varios propósitos orientados al aprendizaje de los contenidos de enseñanza. Así por ejemplo, durante el segundo episodio, Tomás enuncia explícitamente a los estudiantes la importancia de aprender los contenidos que les está enseñando y que están asociados al trabajo en un laboratorio de Biotecnología vegetal: *“¿Por qué es importante que ustedes sepan esto?, porque en un laboratorio, yo les decía a ustedes, tenemos poco a poco que ir aprendiendo a trabajar en un laboratorio, y eso se aprende es siendo disciplinados, entendiendo cuál es la funcionalidad de un laboratorio, y por qué hay zonas demarcadas, ¿sí?, o sea, hay una razón de ser”* (Clase P2.C1).

En los demás episodios, hace referencia a la importancia de aprender sobre bioseguridad, organismos genéticamente modificados y células madre.

Adicionalmente, cabe señalar que al inicio de la clase, Tomás manifiesta que se están aproximando al concepto de lo que es la Biotecnología, lo que nosotros asociamos a un propósito de enseñanza, relacionado con los contenidos de enseñanza y también con el contexto, ya que el profesor señala que la mejor forma de aproximarse a este concepto es viendo cómo es que se aplica, cómo se vive en la cotidianidad, cómo hay cosas en las acciones cotidianas que implican conocimiento biotecnológico, que generalmente es desconocido, y que el conocimiento biotecnológico existe no sólo aquí sino en todo el mundo.

En este mismo sentido, durante la segunda clase Tomás plantea como propósito de enseñanza la construcción de los conceptos Biotecnología y producto biotecnológico cuando señala: *“o sea lo que yo quiero es que me aterricen, por qué llamamos algo como un producto de la Biotecnología”*. Durante el desarrollo de su discurso, el profesor manifiesta su intención de mostrar algunas relaciones entre ciencia – tecnología – sociedad implicadas en lo que se entiende por Biotecnología, la incorporación de la Biotecnología en la sociedad, y el impacto de la investigación biotecnológica en Colombia.

En el transcurso de esta clase Tomás señala también: *“lo que yo quiero es que ustedes vean como a medida que avanza el conocimiento, cierto, y el hombre empieza a investigar, y a digamos, a interrogarse con muchas cosas, va avanzando, y la tecnología ayuda también precisamente a esos procesos investigativos”* (Clase P2.C2), lo cual, desde nuestra interpretación, corresponde a un propósito relacionado con la enseñanza de contenidos asociados a aspectos epistemológicos de la Biotecnología.

Durante la cuarta clase el profesor enuncia que van a avanzar en el tema de la naturaleza del ADN, en esta clase, y mientras hace una exposición acerca de la historia de la Biología Molecular,

menciona también que uno de sus propósitos radica en destacar algunos acontecimientos de la historia de la Biología y el desarrollo de la Genética. En este sentido, a medida que el profesor va mencionando ciertos hechos de la historia de la Biología Molecular va estableciendo relaciones con la naturaleza del ADN, así por ejemplo, indica que lo que busca es decirles cómo a partir del descubrimiento del ADN, de la teoría de la evolución y de las leyes de la herencia de Mendel, se ha ido trazando una línea de desarrollo que permite comprender la naturaleza de la molécula del ADN: *“entonces ahí aparece la primera Ley de Mendel, la segunda Ley de Mendel, la tercera Ley de Mendel, pues ahorita no voy a profundizar en ellas sino para decirles cómo se ha venido a partir del descubrimiento del ADN y de todo lo que es la teoría de la evolución y de todas las reglas, las leyes de la herencia de Gregor Mendel, se ha ido trazando una línea de desarrollo en el cual nos permite cada vez encontrar la naturaleza de lo que es esa molécula del ADN”* (Clase P2.C4).

Durante la quinta clase, y mientras presenta las actividades propuestas acerca de las exposiciones de los modelos por parte de los estudiantes, Tomás señala que la terminología es muy importante, porque hay un lenguaje dentro de las ciencias que poco a poco tienen que ir asimilando para poder explicar cualquier fenómeno, lo que asociamos a un propósito de enseñanza relacionado con la apropiación de lenguaje científico y por ende de la Biotecnología, que les permita explicar la estructura y replicación del ADN.

En la sexta clase Tomás también expresa propósitos orientados a los contenidos de enseñanza, así, señala que espera que, a través de las exposiciones de los modelos de la estructura y replicación del ADN, los estudiantes comprendan los sucesos de los procesos de la Biología Molecular (replicación, transcripción y traducción de los ácidos nucleicos), de igual manera, que espera que comprendan la relación de tales procesos con la Biotecnología.

De otro lado, cabe señalar que en el transcurso de sus clases Tomás suele expresar explícitamente los propósitos de las estrategias y/o actividades que propone a los estudiantes.

De esta manera, durante la segunda clase Tomás expresa, de manera explícita, el propósito de la actividad de clasificación de proposiciones a la que ya nos hemos referido, cuando señala: *“lo que me interesa a mí es que tengan ustedes claridad en un criterio para clasificar precisamente esos papelitos dentro de los tipos de Biotecnología”* (Clase P2.C2), al respecto cabe señalar que, a través del desarrollo de la actividad, efectivamente evidenciamos el alcance de tal propósito. En ese sentido señalamos también, que durante el desarrollo de la actividad Tomás plantea como propósito de la estrategia el establecer relaciones entre la información de los “papelitos” y el tipo de Biotecnología por color a la que se puede asociar: *“entonces, como estamos en tipos de Biotecnología pues tenemos que buscarle la relación de esto... con esto”* (Clase P2.C2), propósito

que es nuevamente enunciado, en el transcurso de la ejecución de la actividad, como podemos ver a continuación:

*“[...] Entonces que, es un proceso abarcante [la Ingeniería Genética], es un proceso macro, ¿sí?, a partir del cual se pueden derivar productos si se quiere, de cualquier tipo de estas Biotecnologías. O sea que a pesar que yo se las coloqué, era precisamente con ese doble propósito, que es a ver si ustedes solo lo relacionan con un tipo de Biotecnología, pero veo que unos dicen no, mejor en la azul, no mejor en la verde, no que, ¿sí?, pero, entonces, nos dimos cuenta que si tiene que ver con todos” (Clase P2.C2).*

Desde nuestra interpretación, a través del desarrollo de la actividad se pudo evidenciar el alcance del propósito planteado, adicionalmente, cabe señalar que, durante este episodio, el profesor realizó preguntas encaminadas a que los estudiantes explicitaran las justificaciones por las que clasifican la información de los “papelitos” asignados en uno u otro tipo de Biotecnología según su color, con lo que estimuló a los estudiantes a alcanzar el propósito de enseñanza.

En relación a lo anterior, observamos que en la tercera clase Tomás manifiesta a los estudiantes que va a dividir la clase en dos partes, por lo que la primera hora va a estar orientada básicamente a explicarles los trabajos que tienen pendientes para después de la semana de receso (semana santa). Así, procede a socializar cada uno de los puntos del taller propuesto, el cual se encuentra escrito en el tablero.

De esta manera Tomás pregunta de manera retórica, *“¿cuál es la finalidad de este taller sobre ADN?”* (Clase P2.C3), a lo que responde que es refrescarles el conocimiento sobre el tema, porque necesita que esos conceptos queden muy claros para poder avanzar en el tema de la Biología Molecular, por lo que va a retomar el tema de la estructura y función del ADN.

Respecto al objetivo de hacer un modelo del ADN señala:

*“¿Cuál es el objetivo de hacer un modelo del ADN? Pues uno es como poner en práctica los conocimientos sobre el ADN, que ustedes los materialicen a través de un modelo tridimensional, pero también que ustedes vayan en su cerebro mirando esa imagen del ADN y la importancia que tiene cada estructura del ADN en la forma como está configurado, eso tiene una razón de ser. Entonces, cuando uno trabaja de una manera práctica, uno logra aprender mucho más los conceptos, los términos, los procesos”* (Clase P2.C3).

Con lo que busca aproximar a los estudiantes tanto al contenido como a la estrategia que hemos denominado modelización.

En este sentido, observamos también que en la cuarta clase el profesor enuncia el propósito de la estrategia de la modelización, el cual radica en que los estudiantes se aproximen a los modelos científicos ya validados por la comunidad, se apropien de ellos y comprendan los fenómenos que representan, como podemos ver a continuación:

*“[...] Ehhh, obviamente que hoy como habíamos acordado vamos a revisar esos modelos de ADN que tienen como ingrediente dos, tres cosas, una que es producto de la consulta que ustedes han hecho en diferentes fuentes, dos que han utilizado material reciclable, o cualquier otro tipo de material que les permita a ustedes de una manera creativa poder dar cuenta de cómo es la molécula del ADN, y tres, lo más importante es cómo a partir de estos modelos ustedes pueden explicar con sus propias palabras y de acuerdo a lo que ustedes han consultado cómo es el comportamiento del ADN, y específicamente, además de la estructura del ADN, cómo es que se replica el ADN. [...] Quiero dar espacio para ver algunos modelos de ustedes. No es la única clase que vamos a hacer sobre el modelo, pero si me interesa que podamos acercarnos a lo que ustedes hicieron, que podamos verlo de manera constructiva, para que esos modelos no solo sean bonitos estéticamente, sino que realmente representen lo que sí es la molécula del ADN, o por lo menos se acerque a eso” (Clase P2.C4).*

Adicionalmente, en el transcurso de su discurso, podemos notar que Tomás establece como propósito de la modelización que los estudiantes establezcan distintas relaciones con los conocimientos acerca del ADN. Así, el profesor señala que lo que busca es que los estudiantes construyan conocimientos, que entiendan como esos conocimientos se aplican en el sector real, y también, que entiendan como el conocimiento sobre el ADN aporta para conocerse a sí mismos, así como lo que acontece en el entorno.

En la tercera clase el profesor hace mención a la visita a Corpoica, y manifiesta que el taller propuesto es para que se vayan preparando para la visita y así puedan preguntar. Señala también que la idea de la visita es tener una explicación de las personas que están trabajando en la investigación sobre el ADN.

Adicionalmente, en esta clase, Tomás señala que va a escribir en el tablero dos juegos de palabras para que los estudiantes construyan con cada uno de ellos un párrafo en el que incluyan esos términos, lo que tiene como propósito incentivar a los estudiantes a la escritura, dado que en ciencias se requiere escribir y relacionar términos para poder describir un proceso.

A través de su discurso observamos que, para Tomás, es necesario promover la lectura, trabajando, no solo en español, si no en todas las asignaturas, incluida ciencias naturales, en este sentido señala: *“el pensamiento científico se va a ir estructurando en la medida en que yo me acerco a conocer también el pensamiento de otros científicos, de las investigaciones que hacen.*

Entonces por eso hay que leer, y si nos da pereza leer pues vamos a perdernos grandes cosas que han hecho otras personas de ciencia” (Clase P2.C3).

De otra parte, cabe mencionar, que, en algunas de las clases, Tomás enuncia propósitos orientados a la evaluación, es así como, durante la tercera clase señala que lo más importante es organizar las notas del primer periodo de cada uno de los estudiantes: *“Muchachos, hoy está bien apretado el tiempo porque hay varias cosas, y lo más importante, dejar notas, porque ya esta es la última clase, en la que se cierra ya el primer periodo. Entonces es muy importante ir revisando, lo que ustedes han venido desarrollando y registrado de las actividades que hemos hecho”* (Clase P2.C3).

En esta misma clase el profesor se refiere al portafolio, un instrumento que va a implementar por primera vez en el colegio, con lo que evidenciamos un propósito relacionado con la evaluación, en cuanto a hacer un seguimiento de lo que han logrado desarrollar los estudiantes.

En ese sentido, en el transcurso de la cuarta clase, Tomás enuncia como propósito abrir un espacio para que los grupos que trajeron el modelo lo puedan revisar, dicha revisión se refiere a que cuenten cómo llegaron a la construcción de ese modelo, qué tuvieron en cuenta y qué consideran que les hace falta.

Adicionalmente, el profesor señala que el propósito del ejercicio de exponer los modelos consiste en que poco a poco aprendan a transmitir y explicar un hecho biológico, lo que les sirve en la vida, y en cualquier escenario, en cuanto a la capacidad de argumentar y de poder comunicar algo a la otra persona, señalando que cuando se habla de estos temas, se tiene que tener una rigurosidad en el manejo conceptual, por lo que la intención de la actividad es llevar a los estudiantes a ser rigurosos con las explicaciones:

*“Entonces, yo quisiera dejar unos momentos para que los grupos que trajeron el modelo hoy, digamos no los van a exponer hoy porque, digo que tenemos que dar un escenario antes de que ustedes se lancen a hacer toda la exposición como, como les había pues comentado, cómo hacerla y qué aspectos tocar de la exposición, es más que nos cuenten cómo llegaron a la construcción de ese modelo, qué tuvieron en cuenta y qué consideran ustedes que, de golpe les hace falta también, porque es una forma también, es una autocrítica que se están haciendo ustedes, ¿sí?”* (Clase P2.C4).

Cabe señalar también, que durante la quinta clase Tomás propone el uso de una ficha técnica para la coevaluación de las exposiciones de los modelos, expresando que el propósito de esa ficha es que los estudiantes aprendan como evaluar un proyecto de otro y el proyecto propio:



*“entonces la idea es que, con esta ficha de proyecto, ehh, primero que todo aprender como evaluar un proyecto de otro, y cómo también es evaluado el mío” (Clase P2.C5).*

Durante las clases, encontramos también propósitos de enseñanza relacionados con el conocimiento de los estudiantes, es así, como, durante la cuarta clase, en la que realiza una reflexión respecto al ejercicio de exposición de los modelos realizado por los estudiantes, Tomás motiva a sus estudiantes en cuanto al aprendizaje frente a la construcción y exposición de modelos y plantea que un propósito de la enseñanza de las ciencias es animar a los estudiantes a pensar las cosas diferentes, lo que relaciona con los caminos (proyectos de vida) que pueden encontrar.

En este sentido, y también durante la cuarta clase Tomás señala que el propósito de la visita que hicieron a Corpoica era impactar la vida de los estudiantes, en la medida de mostrarles las relaciones entre el conocimiento biotecnológico y las aplicaciones que se presentan en el sector industrial, pero también, en cuanto a animarlos a estudiar y ser profesionales, y así poder obtener ingresos poniendo en práctica lo aprendido.

Cabe señalar que en la última clase Tomás manifiesta explícitamente que las presentaciones en público tienen varias finalidades, las cuales, desde nuestra interpretación, van más allá de la comprensión de los conceptos y están relacionadas con el conocimiento que Tomás tiene de sus estudiantes, en la medida que lo que busca es que los estudiantes pierdan el miedo a exponer en público, y al mismo tiempo que aprendan a preparar tales exposiciones, desde realizar la consulta para elaborar el modelo hasta que aprendan a trabajar en equipo para organizar la sustentación, todo desde las características que conoce de ellos, entre ellas, que se reparten las partes de los exposiciones, que tienen que cumplir con ciertos compromisos en los trabajos que desempeñan y que algunos tienen hijos.

De manera general cabe señalar que, desde nuestra interpretación la práctica docente del profesor Tomás se caracteriza por la presentación de manera explícita a los estudiantes de sus propósitos de enseñanza, lo que conlleva a unas clases estructuradas en relación con al alcance de dichos propósitos.

Como podemos notar, a partir del panorama anterior, el componente conocimiento sobre los propósitos de enseñanza del CDC en acción de Tomás se relaciona con los demás componentes del CDC. Lo que reiteramos, implica que este sea un componente importante en la integración de éste CDC.

Así, a partir de la tabla 19 podemos observar, que de las relaciones que estableció el componente Propósitos de enseñanza, la más frecuente fue con el componente Contenidos de enseñanza, en

el sentido P a C, en este caso, encontramos que en la mitad de las clases (2, 3 y 4) la complejidad fue de referencia, debido fundamentalmente a que los propósitos planteados perseguían la comprensión de contenidos asociados a la naturaleza de la Biotecnología, en relación con aspectos epistemológicos, históricos y sociológicos, así como al cuestionamiento en torno a situaciones controvertidas relacionadas con la Biotecnología, como las consecuencias de la manipulación genética y la clonación; y la enseñanza del contenido que hemos denominado modelización. En este orden de ideas, notamos también que en las clases 1, 5 y 6 la complejidad fue intermedia, dado que los propósitos perseguían el repaso de contenidos, así como la fundamentación conceptual respecto a contenidos asociados a la estructura y replicación del ADN, sin tener en cuenta las implicaciones de dicha investigación en la sociedad. De lo anterior deriva que en el mapa consolidado del CDC en acción de Tomás (Figura 16) la complejidad promedio de la relación P a C sea de referencia.

Las relaciones entre las Estrategias de enseñanza y los Propósitos también tuvieron un nivel alto de frecuencia, y su complejidad promedio en el mapa consolidado fue de referencia (ver figura 17), lo anterior se debe, como ya señalamos, a que durante la mayoría de las clases Tomás presentó de manera explícita los propósitos de las estrategias y actividades propuestas, las cuales estuvieron encaminadas, a la enseñanza de contenidos tópicos específicos conceptuales, procedimentales, actitudinales y epistemológicos, entre ellos, la identificación de criterios de clasificación de productos y procesos biotecnológicos de acuerdo a las clases de Biotecnología por colores, la comprensión de los procesos de transcripción y traducción del ADN y la elaboración de modelos sobre la estructura y replicación del ADN.

Durante las clases también observamos relaciones entre el componente Propósitos y los componentes Conocimiento de los estudiantes, Evaluación y Contexto (que desarrollaremos en el apartado de Conocimiento sobre el contexto), las cuales, se presentan con una frecuencia baja (Tabla 19) y en el mapa consolidado (Figura 16) aparecen con una complejidad de referencia, dando cuenta en todos los casos de una perspectiva sociocrítica de la Biotecnología respecto a los propósitos de enseñanza que plantea el profesor Tomás.

#### **4.2.2.1.4.4 Conocimiento sobre los estudiantes**

El porcentaje de las relaciones del componente Conocimiento sobre los estudiantes (13,3%) (Figura 17) equivalente aproximadamente a la mitad del porcentaje del componente Contenidos de enseñanza, nos deja ver que Tomás utiliza el conocimiento sobre sus estudiantes en el desarrollo de sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

En este orden de ideas, a través de la sistematización de las clases del profesor encontramos que Tomás acude a ejemplos de la cotidianidad con los cuales aproximar a los estudiantes a los

contenidos de enseñanza, realiza preguntas orientadas a la indagación tanto de conocimientos previos originados en situaciones cotidianas como de conocimientos escolares previos, escucha y da respuesta a las preguntas de los estudiantes, motiva a sus estudiantes respecto al aprendizaje de la Biotecnología, y además reconoce algunas características propias de los estudiantes de la jornada nocturna, las cuales trae a colación en los momentos de evaluación. A continuación, describiremos nuestros principales hallazgos al respecto.

Como ya hemos mencionado, Tomás suele acudir a ejemplos de la cotidianidad de los estudiantes, con los cuales acercarlos a los términos empleados. Así, por ejemplo, durante la exposición que realiza en el transcurso de la primera clase, Tomás acude a ejemplos con los cuales busca aproximar a los estudiantes a las aplicaciones de cada una de las clases de Biotecnología que menciona. De esta manera, trae a colación situaciones que podrían ser familiares o conocidas por los estudiantes con la intención de que puedan dar significado a lo que esta mencionando, como la relación entre las pruebas de ADN y la criminalística como aplicación de la Biotecnología humana y la descontaminación de aguas residuales utilizando bacterias en el caso de la Biotecnología ambiental.

De igual manera, el profesor acude a ejemplos con los cuales lograr que los estudiantes establezcan relaciones entre el trabajo de laboratorio en el colegio y los procedimientos que menciona como propios de un laboratorio de Biotecnología vegetal. También hace mención al vestuario en el laboratorio, señalando que eso ya lo saben y que por eso ya han adquirido la bata de laboratorio, la cofia, los guantes y el tapabocas, para cuando se requiera, ya que hay unos elementos que son fundamentales para ingresar en un laboratorio y trabajar allí. Podemos decir entonces, que Tomás acude a situaciones conocidas por los estudiantes para “aterrizar” los contenidos que pretende enseñar.

Así mismo, durante esta clase Tomás acude a ejemplos de la vida cotidiana con los cuales ilustrar cuáles son los alimentos genéticamente modificados, sus impactos y la regulación necesaria para su introducción en el mercado. Cabe señalar que en este caso los ejemplos no hacen referencia únicamente a situaciones de la cotidianidad, sino también al contexto nacional y mundial, que además de presentar a los estudiantes también intenta problematizar, como ya hemos señalado.

Durante la segunda clase también observamos el esfuerzo que hace Tomás por acercar a los estudiantes a los términos empleados, a través de ejemplos de la cotidianidad, como en el caso del término conocimiento empírico, que emplea para hablar de los orígenes de la Biotecnología, al cual se refiere de la siguiente manera:

*[...] eso que llamamos Biotecnología no es tan nuevo, desde que el hombre se volvió sedentario empezó, como se dice a cultivar y a elaborar sus propios alimentos, pues fue haciendo unas*

*prácticas que hoy día llamamos Biotecnologías, que en ese entonces ustedes saben, no se hablaba del término Biotecnología, ni se conocía nada de Microbiología, nada, sencillamente era puro empírico el conocimiento, así como ustedes ven por ejemplo los campesinos, nuestros abuelos, abuelas, nuestras madres, que ellas aprendieron fue por tradición oral viendo cómo se hacían las cosas. La cocina, pues como aprende uno a cocinar, pues observando, metiéndose en la cocina, ensayando, etcétera, es un conocimiento más tipo experiencial, empírico. (Clase P2.C2).*

De otra parte, también podemos mencionar que en el transcurso de las clases observamos la realización de preguntas que Tomás hace a los estudiantes, orientadas a la indagación de conocimientos previos originados en situaciones cotidianas, relacionadas con los contenidos de enseñanza. Es el caso, por ejemplo, de la pregunta que ya mencionamos en el apartado de conocimiento sobre las estrategias de enseñanza, en cuanto a si hacer arepas constituye un proceso biotecnológico.

En este sentido, es importante señalar que, al acudir a un ejemplo de la cotidianidad, familiar para todos los estudiantes como fabricar una arepa, Tomás posibilita la construcción de los conceptos Biotecnología y proceso biotecnológico. Durante el diálogo establecido, los estudiantes dejan ver sus conceptos previos acerca de la Biotecnología y mencionan ejemplos que les permiten, a través de sus repuestas y de las intervenciones del profesor, dar significado a los conceptos construidos, como podemos ver a continuación:

*E.8: Ehhh, en la casa de mi mamá, hay veces hacían un guarapo con unas pepitas que no me acuerdo de qué son, no sé, sé que son unas pepitas, el hecho es que fermentaba el, eh, como el ese, y quedaba como un guarapo, es un guarapo, llamémoslo así, un guarapo, pero son unas pepitas, no me acuerdo de qué son en este momento, pero digamos ahí son, ahí habría Biotecnología, porque es que esas pepitas crudas, o sea son seres vivos*

*P.2: Hay que mirar qué tipo de pepas son, y qué otros microorganismos están allí presentes, que utilizan ese sustrato que está allí para hacer procesos fermentativos*

*E.8: Yo me acuerdo que le echaban la panela y que le echaban esas... parecían inclusive como granos de maíz como el peto, tiene como cierto parecido, y esas pepitas dan inclusive, digamos por decir, se echan cinco y a los 6, 7 días, aparecen 10, 15*

*P.2: Ya... No recuerdo realmente, pero, interesante saber qué es y, sin embarco, ustedes saben, que cualquier sustancia que usted la deja al aire libre, ¿sí?, pues, generalmente, ¿qué hay?, pues bacterias, ¿cierto?, y las bacterias, así como cuando ustedes dejan un pedazo de papaya por uno o dos días y empiezan a ver que se cubre de hongos, ¿cierto?, así sucede con este tipo de sustancias" (Clase P2.C2).*

Adicionalmente podemos señalar que Tomás suele validar y complejizar los conocimientos cotidianos que mencionan los estudiantes durante los diálogos que se presentan, la mayoría de las veces buscando establecer relaciones con la Biotecnología, como en el caso de la información que brinda uno de los estudiantes acerca de la preparación de una bebida fermentada tradicional denominada guarapo, que hacían en su casa utilizando unos granos, lo que Tomás relaciona con la acción de los microorganismos que se encuentran en el aire, acudiendo a una situación de la cotidianidad acerca de la papaya que se cubre de hongos.

Cabe señalar que Tomás también hace preguntas con las que indaga conocimientos escolares previos de los estudiantes, así, por ejemplo, durante la segunda clase, a través de preguntas abiertas y cerradas, indaga conocimientos previos acerca de la cuarta generación de la historia de la Biotecnología, con la intención de acercar a los estudiantes a los avances en cuanto al estudio de la molécula del ADN, como podemos observar en el siguiente fragmento de la clase:

*[...] la cuarta generación por qué cobra importancia, ya como una época que es más moderna, más reciente y más cercana a lo que hoy estamos viviendo, que es la Biotecnología moderna, ¿cierto?, y ¿por qué se caracteriza esa cuarta generación? A ver ¿tú por qué crees que se caracteriza?, de lo que leíste, ¿por qué?, a ver, ¿quién me dice qué es lo más importante, que marca esa, esa etapa de la historia de la Biotecnología... la cuarta generación, ¿por qué?, ¿porque se avanzó en qué?, ¿Qué paso por ejemplo con Watson y Crick?, ¿Qué paso?, ¿Qué hicieron?* (Clase P2.C2).

En el transcurso de las clases Tomás escucha y da respuesta a las preguntas de los estudiantes, ampliando la información y casi en todas las ocasiones, estableciendo relaciones con la Biotecnología, adicionalmente, en algunos casos, Tomás señala además que las preguntas que hacen los estudiantes son buenas, con lo cual hace cierto reconocimiento al conocimiento de los estudiantes, como en el siguiente caso:

*E.16: Profe, ¿esos biocombustibles, si son iguales, o sea, esos, si dan el mismo rendimiento que los otros?*

*P.2: Pues, eso es interesante, esa pregunta, primero que todo, no contaminan el ambiente, cierto, ehh, ustedes han escuchado en el mercado, que se habla del biodiesel, ¿sí?, ¿sí han escuchado?* (Clase P2.C2).

Atender las preguntas de los estudiantes, genera nuevos contenidos de enseñanza, como podemos observar en la primera clase, en la que a través de las respuestas que Tomás da a las preguntas de un estudiante se abordan contenidos asociados a los procesos de obtención y finalidad de los alimentos transgénicos, tal y como podemos apreciar a continuación:

*“E.2: ¿Y se modifican antes de cultivarlos o después?”*

*P.2: ¿Cómo?*

*E.2: O sea, se modifican antes de cultivarlos para*

*P.2: Sí claro, o sea para yo poder generar un fruto, digamos transgénico, obviamente tengo primero, claro tengo que trabajar desde el punto de vista genético experimental, para obtener después de esas semillas, las plantas con esos atributos, pero yo tengo que hacer un trabajo, obviamente muy minucioso, tengo que revisar cuál es el...*

*E.2: sí el ADN*

*P.2: El ADN, cómo hacer la técnica para hacer la transferencia de genes, por ejemplo, ¿sí?, ¿qué cruces voy a hacer?” (Clase P2.C1).*

En este sentido, podemos mencionar también, que, en el transcurso de la segunda clase, durante el desarrollo de la actividad de clasificación de proposiciones ya mencionada, algunos estudiantes realizan preguntas al profesor relacionadas con los conceptos implicados en las afirmaciones que tienen que clasificar, preguntas que son atendidas y solucionadas por él. Durante la resolución de tales preguntas el profesor además les realiza preguntas acerca de situaciones de la cotidianidad, que le permiten acercar tales conceptos a los estudiantes, al posibilitarles establecer relaciones entre dichos conceptos y conocimientos de la cotidianidad, tal y como sucede en el caso de los hidrocarburos, el petróleo, los derrames de petróleo y los tratamientos de aguas residuales, o de los biocombustibles, los cuales asocia con el biodiesel, o en el caso de biodiversidad que podemos ver a continuación:

*E.11: (En uno de los grupos) Profe, ¿qué es biodiversidad?*

*P.2: Bio es vida, diversidad es muchos, entonces muchos organismos. Entonces la biodiversidad es la riqueza que hay en un área determinada en términos de animales, de plantas, de microorganismos, ¿sí?, ¿Por qué Colombia es un país biodiverso?*

*E.11: Porque tiene mucha riqueza en la naturaleza...*

*P.2: Tiene mucha riqueza, por eso, muchas especies, diferentes especies, ecosistemas, entonces es eso, y en cualquier región que tú vayas, hay muchas especies, diferentes ecosistemas, esa es la riqueza, lo que se llama biodiversidad” (Clase P2.C2).*

Respecto a las preguntas de los estudiantes, cabe resaltar que, durante la tercera clase, mientras socializa las actividades del taller sobre ADN, Tomás enuncia que durante las exposiciones de los modelos los estudiantes van a participar a través de sus preguntas y sugerencias, con lo que tiene en cuenta el conocimiento de los estudiantes, y desde allí busca involucrarlos en la construcción de conceptos acerca de la estructura y replicación del ADN., así como de su respectiva modelización, como podemos observar a continuación:

*“P.2: O sea que aquí ya está planteado un trabajo, no solo lo que van a presentar en su cuaderno, sino el modelo, y va a haber un espacio para que cada grupo presente el modelo en una feria, en una feria, en una exposición, pero aquí va a cambiar la cosa, o sea, no es solamente pararse aquí al frente con un modelo y tratar de explicarlo, sino que va a ser algo más participativo, o sea, la idea es que todos participen en el modelo, tanto las preguntas que le hagan al grupo, como también las sugerencias que ustedes tengan frente al modelo, que eso es muy válido, ¿sí?” (Clase P2.C3).*

Dentro de los aspectos por destacar en cuanto al conocimiento de Tomás sobre sus estudiantes encontramos también la motivación hacia el aprendizaje de la Biotecnología. Así, por ejemplo, en la cuarta clase, durante su reflexión respecto a las exposiciones de los modelos, el profesor motiva a sus estudiantes en cuanto al aprendizaje frente a la construcción y exposición de modelos sobre la estructura y replicación del ADN, y plantea que un propósito de la enseñanza de las ciencias es animar a los estudiantes a pensar las cosas diferentes, lo que además relaciona con la influencia de dicha actitud en sus proyectos de vida.

Adicionalmente, cabe mencionar que, en este mismo discurso, Tomás reconoce, que por lo general los estudiantes no saben hacer exposiciones, es decir, reconoce las capacidades de sus estudiantes para exponer, de lo que, plantea como contenido de enseñanza aprender a exponer modelos científicos.

Cabe recordar que, en el transcurso de la cuarta clase, Tomás señala que el propósito de la visita era impactar la vida de los estudiantes y aprovecha para motivar a sus estudiantes a incorporar la investigación en Biotecnología a sus proyectos de vida. Lo anterior da cuenta de la preocupación de Tomás por los proyectos de vida de sus estudiantes y de su interés en que ellos se vinculen a la vida laboral y generen ingresos económicos, situaciones que son propias de los estudiantes jóvenes y adultos con los que trabaja el profesor, tal y como podemos notar a continuación:

*“E.12: Silvana, la que nos hizo la explicación, es raro ver una persona tan joven y ya con tanta experiencia*

*[...] P.2: ¿Pero para llegar allá qué hay que hacer?*

*Estudiantes: estudiar*

*P.2: Meterse en el cuento, enamorarse de lo que está estudiando y hágale*

*E.12: O sea, y hay puede ver uno que, o sea, no deja la personalidad de un lado y exacto, y hace lo que le gusta, exacto, porque en la vestimenta se le podía notar que era como una rockerita, pero veía uno que, uy sabía mucho*

*P.2: [...] Ahora esto a ustedes les debe quedar como un ejemplo también a seguir, y es que ustedes no se queden ahí, ustedes tienen un potencial impresionante que a veces lo subestimamos, a veces casi que uno no cree en sus capacidades, pero estoy seguro que ustedes pueden llegar mucho más*

lejos, ¿sí?, y no es cuestión de plata, el que quiere llegar, llega como sea, y ya hay muchas formas en que pueden llegar a ser profesionales, y a meterse en un cuento interesante, porque son proyectos de vida, es un proyecto que no solamente es, y cuánto voy a ganar, porque lo primero que piensa uno, pero eso sí me da platica, pues se supone que todo lo que estudie depende de cómo usted lo asuma lo va a poner en práctica y va a generar dinero, ¿sí?, pero hay que ser muy buenos para poder lograr grandes cosas” (Clase P2.C4).

Adicionalmente, y como ya habíamos mencionado, desde nuestra interpretación, cabe señalar que a través de las salidas pedagógicas que Tomás propone como estrategias de enseñanza, posibilita el potenciamiento de las habilidades de los estudiantes como estudiantes de jornada nocturna.

Finalmente, cabe mencionar también, que algunos de los estudiantes que exponen sus modelos sobre la estructura y replicación de la molécula del ADN, no se limitan a leer, sino que también dan cuenta de su comprensión respecto a los contenidos que mencionan, particularmente sobre la replicación del ADN. En este sentido, por ejemplo, durante la quinta clase, uno de los estudiantes complementa su discurso con dibujos en el tablero relacionados con los mecanismos de replicación del ADN y explica la replicación semiconservativa a partir del modelo que elaboró, con lo que los contenidos de enseñanza del episodio son aquellos que los estudiantes expresan a través de sus exposiciones. De esta manera, podemos señalar que la actividad de exposición propuesta por Tomás para esta clase estuvo centrada en los estudiantes, implicándolos, a través de la comunicación de manera explícita de sus conocimientos acerca de los contenidos de enseñanza, como en la evaluación, a partir de la realización de preguntas a los estudiantes expositores. No obstante, cabe señalar que, en esta clase, Tomás no indago por los conocimientos previos de los estudiantes, lo cual habría podido facilitar la construcción de conceptos, sino que realizó preguntas orientadas a indagar por la comprensión de los estudiantes, del tipo: “Bueno, ahora sí, ¿de lo que leyó qué entendió?” (Clase P2.C5), cuyas respuestas lo llevaron a reconocer que algunos estudiantes no prepararon la exposición y a hacer recomendaciones al respecto.

Cabe mencionar, que, al final de esta clase, Tomás realiza una retroalimentación acerca de las exposiciones en la cual manifiesta que le gustó mucho el modelo presentado por los estudiantes, ya que permite representar el rompimiento de los enlaces y la plantilla o molde a partir de la cual se van a sintetizar y ensamblar las bases nitrogenadas, haciendo un reconocimiento al trabajo de los estudiantes que expusieron, en cuanto a su valentía de pararse al frente y atreverse a plantear ideas y defenderlas a través del recurso del dibujo, lo cual, relaciona con la capacidad de argumentación de ideas científicas, tanto al nivel de educación básica, como de educación superior, como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:



“Me gustó mucho de este modelo el tema que explicaba Oscar, zafando pues estas partecitas, o sea, que él estaba mostrando cómo para replicarse pues obviamente tenemos que romper enlaces y tener una plantilla, o molde, a partir de la cual se van a sintetizar, o a producir, o se van a ensamblar los nucleótidos, las bases nitrogenadas sobre una plantilla, haga de cuenta como que si esto fuera un tornillo y acá hubiera una tuerca, ¿sí?, y si acá está la tuerca, acá va el tornillo, y es buscar cuál es la base sobre la cual se va formando lo complementario [...] Entonces, yo rescato del grupo, primero la valentía de pararse acá al frente porque no es fácil, y como a ustedes les consta, cuando uno va a hacer una explicación de este tipo, pues hay cosas que se pueden olvidar, entonces yo tengo que echar mano de algo, leer, pero hay cosas que me quedan todavía en el vacío, ¿por qué?, porque ustedes están en un proceso de construir ese conocimiento, y obviamente hasta ahora están explorando cosas, ¿sí?...” (clase P2.C5).

A partir del panorama anterior, podemos señalar de manera general que el componente Conocimiento de los estudiantes del CDC en acción del profesor Tomás establece relaciones con los demás componentes (ver figura 17), de las cuales, la más frecuente es la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes, cuya complejidad promedio es intermedia, debido a que hubo algunas clases en las que la relación en mención tuvo complejidad inicial (1 y 5), otras en las que la complejidad fue intermedia (3) y otras en las que la complejidad fue de referencia (2 y 4), y a que en la sexta clase, esta relación no apareció (ver figura 15).

Así, y como ya mencionamos, en algunas clases, como la clase 1, Tomás acudió a varios ejemplos relacionados con la cotidianidad de los estudiantes, con los cuales acercar los contenidos de enseñanza, sin embargo, y dado que la mayor parte de las preguntas que realizó fueron retóricas, no propició la participación activa de los estudiantes a través de la cual conocer sus ideas al respecto. Por su parte, en la clase 5, y como acabamos de mencionar, Tomás hizo un reconocimiento al trabajo de los estudiantes que expusieron, aunque no indagó ni complejizó las ideas previas de los estudiantes, con lo cual, prevalecieron varios errores conceptuales acerca de la estructura y replicación del ADN.

En la clase 3, en la que la complejidad de la relación Estrategias a Conocimiento de los estudiantes fue intermedia, podemos observar que dentro de las actividades que Tomás propone, enuncia tener en cuenta las preguntas y sugerencias de los estudiantes y también que, en el desarrollo del segundo taller propuesto, atiende a las preguntas hechas por los estudiantes, aunque no hay complejización de los contenidos de enseñanza asociados a estas preguntas.

En las clases 2 y 4 por su parte, algunas de las preguntas que Tomás realiza a los estudiantes, son abiertas y están encaminadas a la indagación de ideas previas de los estudiantes, las cuales además de posibilitar la comunicación, también conllevan al establecimiento de diálogos, en los que se observa una co-construcción de significados.

Con lo anterior podemos resaltar que Tomás sabe que sus estudiantes tienen conocimientos previos y características particulares que incorpora en su práctica de enseñanza de la Biotecnología.

Podemos decir además que en ocasiones Tomás hace uso de su conocimiento sobre sus estudiantes, pero no a nivel del CDC, en la medida en que suele hacer mención a su reconocimiento de ciertas características propias de los estudiantes de la jornada nocturna, como ser jóvenes y adultos que trabajan y tienen compromisos familiares, que lo llevan a señalar que su finalidad es formarlos para la vida, a través de la exigencia en cuanto a la responsabilidad y el compromiso con el aprendizaje individual, tal y como podemos apreciar en el siguiente fragmento de la última clase:

*“Estoy para darles elementos, pero también que ustedes se exijan a sí mismos y saquen el tiempo porque han tenido más de dos meses, que no les cuesta sino una hora sentarse juiciosos, revisar lo consultado, tratar de comprenderlo, mirar en dónde es que se les dificulta el entendimiento, y preguntar, ¿sí?, pero ustedes son personas que tienen unas capacidades que ni se creen, pero si ustedes de verdad se ponen juiciosos, van a encontrar que son capaces de esto y mucho más. Dejen la pereza, dejen ese facilismo, de querer sacar las cosas ay por cumplir, porque es que estos son escenarios donde ustedes se están formando y también están creciendo, y que ustedes en cualquier momento de su vida van a necesitarlo. Es como la persona que se conforma con lo poco, entonces toda su vida se conformó con lo poco, no, uno tiene que exigirse, y cada vez, avanzar, avanzar, avanzar, en el trabajo, los que estén laborando saben que en su empresa, o en la fábrica, donde estén trabajando necesitan personas idóneas, capaces, personas con mucha, digámoslo así, una persona que tiene ideas, que es propositiva, que quiere ir más allá, que tiene iniciativa, ¿sí?, esas son las personas que quieren tener los empresarios, no las personas calladas, sumisas que no dicen nada y que hacen lo poco porque pues no. Por eso, estos escenarios además de aprender desde una disciplina están formándolos a ustedes para la vida, así ustedes no lo vean tan relevantes las situaciones así, entonces, comprométanse ustedes consigo mismos, esto no es para el profesor, es para cada uno de ustedes, el proceso de aprendizaje surge de ustedes, entonces, procuren cada día ser mejores, aprender más, hacer las cosas con mejor calidad, todo eso compromete dedicación, y yo llevo 20 años trabajando con Jornada Nocturna, con jóvenes y adultos, y por el hecho de que trabajen y tengan sus compromisos y sus cosas familiares, yo no los subestimo, y yo no vengo acá a hacer una clase de tercera categoría, yo vengo aquí a hacer una clase como la haría para la jornada diurna, con ganas, con propiedad, con tratar de sacar adelante unos propósitos de formación de ustedes...”* (Clase P2.C6).

#### **4.2.1.4.5 Conocimiento sobre la evaluación**

La figura 17, nos permite notar que un 9,1% del total de las relaciones entre componentes del CDC en acción del profesor Tomás son establecidas por el componente Evaluación, lo que corresponde aproximadamente a una tercera parte de las relaciones que establece el componente Contenidos de enseñanza e indica que durante su práctica de enseñanza de la Biotecnología, Tomás, aunque de manera poco frecuente, hace uso de su conocimiento sobre la evaluación, reconociéndola como mecanismo que permite identificar tanto el alcance de los propósitos de enseñanza, como los aspectos por mejorar de su práctica docente.

De esta manera, en lo que sigue, presentaremos algunos ejemplos que nos permiten visualizar el componente conocimiento sobre la evaluación del CDC en acción de Tomás, respecto a cada una de las subcategorías del componente conocimiento sobre la evaluación.

- ***Conocimiento de las dimensiones de la evaluación***

En la tercera clase, mientras Tomás socializa las actividades del taller sobre ADN, hace referencia a un ejercicio de coevaluación en el que, de acuerdo a lo que manifiesta, los estudiantes podrán, a través de preguntas y sugerencias, evaluar los trabajos de sus compañeros. Desde nuestra interpretación, la intención del ejercicio propuesto, radica en evaluar los contenidos conceptuales asociados a la estructura de la molécula del ADN y a los mecanismos de transcripción y traducción, pero también evaluar los modelos en sí mismos, con lo cual, estaría evaluando el contenido procedimental que hemos denominado modelización.

En este sentido, cabe señalar, que Tomás inicia la quinta clase socializando los criterios que serán tenidos en cuenta dentro de la evaluación de las presentaciones de los modelos elaborados por los grupos de estudiantes, de manera que hace referencia a cuatro criterios: el diseño y la creatividad en la elaboración del modelo, entendiendo la creatividad como el diseño, el uso del color, el uso de las formas y el valor agregado del diseño (basado en una consulta previa); el manejo del tema, es decir, la capacidad de explicar la estructura y replicación del ADN, dando cuenta de las fuentes consultadas y de la capacidad de mostrar a través del modelo el desarrollo del tema; la claridad de la explicación y; el uso de la terminología científica y la apropiación de algunos conceptos consultados, refiriéndose en este sentido a la importancia de expresar lo que cada elemento del modelo representa (una base nitrogenada, un grupo fosfato, un azúcar).

De esta manera Tomás hace referencia a contenidos epistemológicos, en cuanto se refiere a la generación de modelos – modelización, como parte del proceder en las ciencias para producir conocimiento científico y a que las ciencias tienen un lenguaje propio, haciendo referencia a lo que identifica a las ciencias naturales.

En el transcurso de las demás clases, y como veremos en el desarrollo de los siguientes apartados, Tomás también evalúa los conceptos de Biotecnología y proceso biotecnológico, así como algunos contenidos conceptuales asociados a la estructura y replicación de la molécula del ADN.

- ***Conocimiento de los momentos y la finalidad de la evaluación***

En cuanto a los momentos y la finalidad de la evaluación, durante la tercera clase, Tomás hace referencia a un portafolio, es decir, a una carpeta con gancho legajador, en la que espera que los estudiantes tengan una serie de materiales que le van a permitir llevar a cabo una evaluación que él mismo señala será de carácter procesual, en tanto, le permitirá seguir el proceso de los estudiantes en cuanto a su aprendizaje, como el alcance de los desempeños propuestos, como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

*“P.2: [...] en el portafolio que les comentaba, entonces, después de semana santa, si les voy a solicitar a cada uno una carpeta. En esa carpeta yo les voy a colocar una serie de materiales que ustedes van a ir desarrollando y, que en la medida que avanzamos en los temas ustedes van a trabajar sobre su carpeta lo que esté indicado allí, cierto. Eso es una manera que voy a implementar por primera vez aquí, y es el tema del portafolio, y el portafolio es un instrumento que me permite a mi hacerle seguimiento a cada uno, o sea individual, de su proceso, tanto de aprendizaje, como sus desempeños, ¿sí? y es una manera ordenada de saber en dónde se quedó, por qué se quedó, en donde tuvo dificultades, y eso requiere un trabajo más personalizado, eso lo voy a hacer con ustedes precisamente como una prueba porque yo he creído más en ese tipo de evaluación, una evaluación de proceso, de hacer seguimiento a lo que cada uno de los estudiantes realiza, porque cada uno tiene diferentes ritmos de aprendizaje y pues cada uno también percibe de una manera diferente las cosas, entonces por eso me parece interesante trabajar eso con ustedes, bueno, entonces traen una carpeta con gancho legajador y ya” (Clase P2.C3).*

En este orden de ideas, Tomás señala que va implementar el portafolio porque cree más en la evaluación procesual, es decir en una evaluación que le permita hacer seguimiento a lo que cada uno de los estudiantes realiza, reconociendo que cada uno tiene diferentes ritmos de aprendizaje y que cada uno percibe las cosas de una manera diferente. No obstante, cabe señalar que la estrategia quedó en el nivel enunciativo, ya que durante las clases no evidenciamos la ejecución de esta propuesta evaluativa.

Durante esta misma clase, Tomás procede a revisar los cuadernos y cartillas de Biotecnología de los estudiantes, de manera que lo que observamos es que el profesor llama a los estudiantes en orden de lista, solicitándoles que le presenten su cuaderno y cartilla, y que de acuerdo a las actividades registradas emite una calificación. Lo que el profesor tiene en cuenta para dar la calificación es que los estudiantes hayan desarrollado las actividades de las lecciones 1 y 2 de la

cartilla de Biotecnología (en la cartilla) y que hayan hecho el resumen de la “parte teórica” de estas dos unidades en el cuaderno.

Adicionalmente, y a raíz de preguntas que hacen algunos de los estudiantes, el profesor manifiesta que tiene registrada la nota del trabajo en clase, la nota de las exposiciones y también que va a dar una nota del taller sobre Biotecnología alimentaria que están realizando en clase y que la nota definitiva será obtenida a partir del promedio de las notas ya mencionadas. Respecto a la evaluación del taller que los estudiantes están desarrollando durante ese momento de la clase, Tomás manifiesta que la idea es que una vez revise lo que hicieron, realizarán la discusión correspondiente y les entregará las notas, dejando ver que se realizará una discusión relacionada con las respuestas del taller, sin embargo, la actividad propuesta permanece en el nivel enunciativo.

De esta manera, más que observar el seguimiento a un proceso, observamos una evaluación sumativa, cuya valoración corresponde al resultado del promedio de las notas de diferentes actividades evaluadas. Cabe señalar que durante el episodio el profesor insiste en que no va a dar oportunidad de presentar las actividades solicitadas dado que no tiene más tiempo para reportar las notas definitivas.

En la quinta clase, Tomás también se refiere a la evaluación formativa, lo anterior cuando explica a los estudiantes la manera como se va a desarrollar la evaluación de las exposiciones de los modelos, realizadas en esa clase, como podemos ver a continuación:

*[“...] de hecho, ya, el que ustedes traigan un modelo y que lo expliquen, eso es un trabajo que yo tengo que valorar, claramente, pero, pues vamos a hacer esa dinámica. De esta sesión va a salir un insumo muy importante que yo voy a tener en cuenta, voy a revisar las fichas de evaluación, y también lo que yo percibo en la presentación de sus proyectos, y de ahí, yo saco algunos elementos de análisis para la próxima sesión, hacer una explicación mostrando en dónde encontré que había debilidades, reforzando con una explicación ya desde el campo de las ciencias, ¿sí?, sobre lo que ustedes presentaron. O sea, fíjense que estamos haciendo un trabajo, primero que ustedes van a indagar, segundo a comprender, hasta donde va ese nivel de comprensión, tercero a presentar el tema, y cuarto a ser reforzado por el profesor, para que quede claro el tema, o por lo menos hay un, una forma en que ustedes comprendan más el tema con un nivel de profundidad, ¿sí?, y todos estos procesos son dispendiosos pero se necesitan hacer, o sea, se gasta tiempo, pero es necesario hacerlos, ¿sí?, es necesario hacerlos” (Clase P2.C5).*

En su discurso, el profesor hace referencia a unas fichas de evaluación, unos instrumentos que propone, sean diligenciados por él y dos estudiantes durante la evaluación de cada exposición, en ese orden de ideas, expresa que las fichas de evaluación van a ser un insumo muy importante que va a tener en cuenta, así como lo que él perciba de la presentación de los proyectos, y que,

de ahí, va a sacar algunos elementos de análisis, que le van a permitir, en la próxima sesión, explicar en dónde encontró debilidades y reforzar con una explicación. De esta manera, al mismo tiempo, Tomás hace referencia a una evaluación formativa, entendida por él, como un proceso en el que los estudiantes serán coevaluadores de los trabajos de sus compañeros, teniendo en cuenta ciertos criterios previamente seleccionados, con lo que, a través de su participación como profesor, los estudiantes aprenderán a evaluar, a ser evaluados y también a identificar debilidades, para, desde nuestra interpretación, encontrar oportunidades de mejoramiento.

Durante las clases de Tomás también observamos una evaluación tradicional, como en el caso de la quinta clase en la que, al inicio de la clase vemos que la evaluación es utilizada con un carácter punitivo o sancionador, lo anterior dado que solo dos de los grupos trajeron su modelo, por lo que el profesor enuncia que va a mirar cuál será la decisión respecto a los grupos que no lo trajeron:

*“[...] entonces voy a trabajar sólo con las personas que vinieron, trajeron su modelo y lo van a presentar ya. Ya mirare yo cuál es la decisión sobre los demás porque obviamente hoy era la sesión de sustentación, yo no puedo pasármela todo el semestre en este tema, porque hay muchas cosas adelante que están programadas”* (Clase P2.C5).

Adicionalmente, durante la sexta clase observamos que cuando Tomás nota que los estudiantes no pasan voluntariamente a exponer los modelos, acude a una evaluación sancionadora y centrada en la nota, con la que busca convencer a los estudiantes de realizar las exposiciones.

- **Conocimiento de los instrumentos de evaluación**

En cuanto a los instrumentos de evaluación, señalamos que en algunas de las clases Tomás acudió a la realización de preguntas abiertas y cerradas que le permitieron evaluar el aprendizaje de los estudiantes.

Así, por ejemplo y como ya hemos dicho, durante la segunda clase, Tomás realiza varias preguntas, con las que, en algunos casos, evalúa el concepto de Biotecnología, pero no a manera de la repetición de una definición, sino buscando determinar las relaciones que establecen los estudiantes entre lo que entienden por proceso biotecnológico y Biotecnología, en este sentido, realiza preguntas orientadas a indagar lo que los estudiantes entienden por proceso biotecnológico, y por extensión, de lo que entienden por Biotecnología. Con lo que, desde nuestra interpretación, al mismo tiempo que indaga por los conocimientos de los estudiantes, Tomás también está evaluando la comprensión de los conceptos.

Cabe señalar, como ya hemos mencionado también, que, en el transcurso de esta misma clase, y durante la actividad de clasificación de los “papelitos” Tomás realiza varias preguntas,

encaminadas a evaluar la comprensión de las relaciones ente la información asignada y las clases de Biotecnología por colores, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

*“P.2: Diseño y producción de nuevos materiales de uso cotidiano, plásticos, textiles. Obviamente está dentro de la Biotecnología industrial, ¿por qué?”*

*E.15: Bueno, porque son compuestos y microorganismos y enzimas químicas que son llamadas cadenas de polímeros, y sustancias orgánicas ehhh, los microorganismos, son digamos para poder sacar un textil, lo que se utiliza, en la seda, los gusanos, ellos sacan los ehh, los hilos, para así formar una cadena, una cadena, para formar un hilo digamos. Ehh, las enzimas químicas, es para darle el color, se utilizan las enzimas químicas para darle el color al tipo de prenda que uno quiere, es para darle el color, ehh, y sustan, las sustancias orgánicas, son algunas, ehh, para hacer el plástico, como usted lo estaba diciendo, los polímeros [...]*

*P.2: Si, bueno, me alegra que lleguen a ese nivel, pero en relación, porque pues de eso se trata, que ustedes vayan explorando, así no sepan a profundidad y en detalle cómo es que se produce un polímero, pero por lo menos tienen idea de cómo la parte molecular de algunas sustancias que producen los organismos pueden ser utilizados con esos fines, cierto, muy bien” (Clase P2.C2).*

El fragmento anterior también nos permite notar que a través de las preguntas que realiza el profesor está evaluando aspectos epistemológicos de la Biotecnología, en relación con su objeto, lo anterior dado que, a partir de sus preguntas y la correspondiente retroalimentación a las respuestas, Tomás está indagando y destacando al mismo tiempo algunos elementos del objeto de la Biotecnología como la producción y la finalidad.

Dentro de los instrumentos de evaluación empleados por Tomás, también podemos mencionar, la estrategia de portafolio, a la cual, ya nos referimos y que, aunque es enunciada no es ejecutada. De igual manera, cabe señalar el uso de las fichas de evaluación a las que ya nos hemos referido y que desarrollaremos un poco más en el siguiente apartado.

- **Conocimiento de las formas de evaluar**

Dentro de las formas de evaluar, podemos señalar que durante las clases de Tomás observamos actividades de heteroevaluación, pero también de coevaluación y autoevaluación.

Es así como, tal y como ya habíamos mencionado, durante la tercera clase manifiesta que para que cada grupo presente su modelo va a haber un espacio en el que la idea es que todos participen tanto a través de las preguntas que le hagan al grupo que está exponiendo, como de las sugerencias que tengan frente al modelo; lo cual constituye un ejercicio de coevaluación, con

el que el profesor cede la evaluación al grupo y posibilita que los trabajos sean evaluados no solo por él, sino también a través de los aportes de los compañeros.

Respecto a la autoevaluación, podemos mencionar que, durante la introducción que hace al inicio de la cuarta clase, Tomás se refiere a abrir un espacio para que los grupos que trajeron el modelo lo puedan revisar, contando cómo llegaron a la construcción de ese modelo, qué tuvieron en cuenta y qué consideran que les hace falta, como podemos notar a continuación:

*P.2: [...] hoy, digamos no los van a exponer hoy [los modelos] porque, digo que tenemos que dar un escenario antes de que ustedes se lancen a hacer toda la exposición como, como les había pues comentado, cómo hacerla y qué aspectos tocar de la exposición, es más que nos cuenten cómo llegaron a la construcción de ese modelo, qué tuvieron en cuenta y qué consideran ustedes que, de golpe les hace falta también, porque es una forma también, es una autocrítica que se están haciendo ustedes, ¿sí?, y después, la otra sesión, que es ya la presentación de cada grupo con su modelo es no solo pasar al frente a exponer qué es el ADN, cómo se replica, sino va a haber una participación de estudiantes como evaluadores del modelo, es decir, bajo unos parámetros van a evaluar su modelo, ¿sí?, entonces, desde qué punto de vista, pues obviamente desde o que ellos puedan con su capacidad y sus conocimientos lograr evidenciar en su modelo, si manejan el tema, cómo fue construido, si la estructura del ADN que representan es completa, o le faltó algo, o sencillamente, que se quedó muy corto, muy limitada en la explicación, ¿sí?..." (Clase P2.C4).*

Así, relacionamos el término autocrítica al que Tomás se refiere con un ejercicio de autoevaluación, que efectivamente ocurre, ya que, a través de las indicaciones y preguntas del profesor, las exposiciones se centran en describir la información que consultaron los estudiantes para poder construir el modelo y explicarlo. Cabe reiterar que, a través de sus preguntas, Tomás promueve la reflexión de los estudiantes respecto a la planificación, construcción y evaluación del modelo y a la correspondencia con las solicitudes concretas que había realizado.

Durante la introducción Tomás, vuelve a señalar, que, en la siguiente clase, en la que cada grupo va a exponer la estructura del ADN a través de su modelo, va a haber participación de estudiantes como evaluadores, quienes, bajo ciertos parámetros: manejo del tema, cómo fue construido, correspondencia con la representación de la estructura del ADN, extensión de la exposición, van a evaluar los modelos, con lo que hace mención a un ejercicio de coevaluación.

De esta manera, durante la quinta clase, Tomás enuncia que cada proyecto (la exposición de cada modelo) va a ser evaluado por él y por dos estudiantes a través de una ficha técnica y explica cada uno de los criterios de evaluación. Adicionalmente el profesor señala, como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase, que como parte de la dinámica de evaluar y ser evaluado va a haber dos preguntas que van a hacer los evaluadores, dos estudiantes que van a hacer dos



preguntas y van a registrar en la ficha las preguntas y así mismo si la explicación fue correcta o no, señalando, como acabamos de mencionar, que el ejercicio propuesto, se trata de una evaluación formativa.

*“[...] es muy fácil que pase un grupo y yo lo dejo que hable como quiera, que exponga como quiera, y después digo, no, sacó tres, no, sacó tres cinco, no, me interesa la rigurosidad con la que ustedes manejen obviamente el tema y como lo exponen, porque ustedes se están cualificándose, porque ustedes están exigiéndose a sí mismos, ¿sí?, para que lo hagan mejor. De esta dinámica de ser evaluado y evaluar va a haber dos preguntas que van a hacer los evaluadores, los evaluadores quiénes, los compañeros, ¿sí?, van a hacer dos preguntitas y ellos van a registrar en la ficha que ya yo les entrego las preguntas que ellos les hicieron, y, así mismo van a colocar si la pregunta, la primera pregunta que se formuló por ejemplo fue contestada, y para ustedes si es correcta esa explicación o no es correcta esa explicación, ¿sí?, ojo, esto se trata de una evaluación formativa, no de corchar al compañero, no de rajarlo o de pasarlo, porque finalmente, yo, pues obviamente, no es la intención de rajar a nadie, ni de atacarlos, no, es hacer un proceso que nos vaya formando...” (Clase P2.C5).*

En el transcurso de las exposiciones, efectivamente aparecen momentos tanto de heteroevaluación, como de coevaluación.

En cuanto a la coevaluación que ocurre en esta clase, podemos decir que los estudiantes se muestran receptivos a la actividad evaluativa propuesta, y que, por tanto, antes de iniciar cada exposición, cuando el profesor pregunta quienes quieren ser evaluadores, los estudiantes levantan la mano, solicitando desempeñar esa función, y luego realizan las preguntas correspondientes, cabe mencionar que las preguntas tienen que ver con contenidos conceptuales asociados a las exposiciones. Por su parte el profesor reitera las preguntas realizadas por los estudiantes evaluadores, y realiza otras preguntas, con lo cual lleva a cabo el ejercicio de heteroevaluación. Adicionalmente cabe señalar que al final de la clase Tomás manifiesta que le gustó mucho el modelo presentado por los estudiantes, y hace un reconocimiento al trabajo de los estudiantes que expusieron, en cuanto a su valentía de pararse al frente y atreverse a plantear ideas y defenderlas a través del recurso del dibujo, con lo que, interpretamos que, a través de la retroalimentación que hizo el profesor, se logró llevar a cabo una evaluación formativa, con la cual, los estudiantes pudieron evidenciar sus debilidades y fortalezas respecto a su trabajo de modelización y también respecto a su ejercicio expositivo.

Lo que acabamos de presentar acerca del conocimiento sobre la evaluación del profesor Tomás, nos permite entender entonces, que en el mapa consolidado del CDC en acción de Tomás (Figura 16), las relaciones Estrategias a Evaluación y Evaluación a Propósitos, tienen una complejidad promedio de referencia, pues aunque estas relaciones tienen baja frecuencia, ocurren cuando el

profesor plantea, a través de distintas estrategias realizar evaluaciones de carácter formativo y procesual, con las cuales incorporar a los estudiantes mismos y a los compañeros en los procesos de evaluación y también realizar un seguimiento de los procesos de los estudiantes, atendiendo a sus ritmos de aprendizaje.

También podemos entender que la relación Evaluación a Contenidos sea de complejidad promedio intermedia, ya que, aunque hubo episodios en los que el profesor evaluó contenidos asociados a la epistemología de la Biotecnología y a la modelización, como en las clases 2 y 3, también hubo episodios en los que, desarrolló una evaluación sancionadora, como en la clase 6, y otros momentos en los que, a través de preguntas, se preocupó por la repetición de información previamente consultada.

De otra parte, la relación de Evaluación a Conocimiento de los estudiantes sin ser muy frecuente, tiene una complejidad intermedia, debido principalmente a que, en la clase 2 (ver figura 15), Tomás reconoce que los estudiantes tienen conocimientos previos con relación a la Biotecnología, los cuales evalúa e incorpora al desarrollo de la clase y además, a que en la clase 5, reconoce y evalúa las capacidades de los estudiantes en cuanto a su manera de exponer la estructura del ADN a partir del modelo elaborado.

#### **4.2.2.1.4.6 Conocimiento sobre el contexto**

El análisis de la figura 17 nos permite notar que el componente Conocimiento del contexto presenta un 5,8% del total de las relaciones, un valor que corresponde aproximadamente a la quinta parte del porcentaje de relaciones establecidas por el componente mayoritario y nos lleva a señalar que Tomás, aunque hace referencia a situaciones con las que contextualizar la Biotecnología, hace un bajo uso de este conocimiento durante sus procesos de enseñanza.

De manera particular, a partir de la figura 15 podemos observar que el contexto es el único componente que no aparece en todas las clases sistematizadas, así, notamos que Tomás no hizo uso de este conocimiento en la clase 5 y que en la clase 1, fue en la que más utilizó este conocimiento. A continuación, describiremos nuestros hallazgos al respecto.

Durante las clases, Tomás hace referencia a situaciones de la cotidianidad a partir de las cuales busca contextualizar los contenidos de enseñanza. Es así como, al inicio de la clase 1, Tomás manifiesta explícitamente que quiere aproximarse al concepto Biotecnología a partir de la identificación del conocimiento biotecnológico en las acciones cotidianas:

*“[...] Digamos que como nos estamos aproximando al concepto de lo qué es la Biotecnología, pues la mejor forma de hacerlo es viendo también cómo es que se aplica la Biotecnología, cómo se vive en la cotidianidad, cómo hay muchas cosas de nuestras acciones cotidianas que hacemos y que nos tropezamos con ese conocimiento sin saberlo, pero que existe y que hoy es una realidad, no solo aquí sino en todo el mundo” (Clase P2.C1).*

Con lo que da cuenta de la relación que existe entre la Biotecnología y diferentes situaciones de la cotidianidad, no sólo en Colombia sino en todo el mundo.

En la segunda clase Tomás también hace referencia a situaciones cotidianas, así, por ejemplo, durante el desarrollo de la segunda generación de la Biotecnología, Tomás acude a un dato histórico que a su vez relaciona con una situación del contexto cotidiano, la pasteurización de la leche, con lo que aporta a la construcción de conceptos, a través de la facilitación de relaciones entre lo ya conocido y los nuevos conocimientos, que permitan a los estudiantes dar sentido y significado a los términos introducidos, entre ellos: microbios, microorganismos y pasteurización.

En esta clase y como ya hemos mencionado Tomás realiza una exposición a los estudiantes acerca de los tipos de Biotecnología, de acuerdo a su clasificación por colores. Cabe recordar entonces que el profesor acerca a los estudiantes a las aplicaciones biotecnológicas incluidas en cada tipo de Biotecnología a través de situaciones de la vida cotidiana, relacionadas por ejemplo con el uso de microorganismos en la producción de los biofármacos que se incluyen en la Biotecnología roja, mencionado a este respecto, además, ventajas y desventajas de dichos medicamentos.

Cabe señalar también, que durante la intervención del profesor acerca de la Biotecnología roja un estudiante hace una pregunta relacionada con la posible adicción que pueden causar los antibióticos o farmacéuticos, de lo que, Tomás menciona información acerca de los espectros de acción de los antibióticos y la forma en la que los médicos los formulan, acercando a los estudiantes a una situación de la vida cotidiana a través de la cual puedan dar sentido a los contenidos que aborda en su discurso, como podemos ver a continuación:

*“E.6: Profe, ehh, ¿los antibióticos o los farmacéuticos no son, no tienen como decir una alteración a ser adictiva?”*

*P.2: Pues digamos, a ver, lo que se maneja en antibióticos son diferentes tipos de espectro, cada medicamento, cada antibiótico tiene un espectro, cada tipo de antibiótico, ¿sí?, obviamente que si usted usa siempre para atacar por ejemplo una bacteria del intestino con un tipo de antibiótico, esa bacteria puede generar una resistencia frente a ese tipo de antibiótico, y ya no le hace efecto, ya no, o sea usted consume el antibiótico X y ya, y sigue ahí la bacteria colonizando el intestino y haciendo de las suyas, entonces en medicina, digamos se tiene, que si yo empiezo con el antibiótico A, y no me hizo efecto, tengo que ir ahora con el otro que es de mayor potencia, con el B, o sea, ahí estoy hablando de espectro, y eso es científico, ¿no?, ese espectro, porque si yo de*

una vez lo voy mandando con el mayor, y de pronto la bacteria me responde bien, o sea, no se muere, digámoslo así, entonces es grave, porque entonces ya no hay forma de poder usar otro, o sea, en todo lo que tenga que ver con antibióticos, siempre los médicos empiezan, pues ya saben por dónde empezar, con qué antibiótico, si ya se vuelve muy agresiva la cosa pues tienen que cambiar el antibiótico por uno que tenga un mayor poder ¿sí? y entonces a eso le llaman espectro, ¿sí?, vale” (Clase P2.C2).

En ese orden de ideas, cabe recordar, que durante su exposición sobre los otros tipos de Biotecnología Tomás también hace referencia a la intervención de enzimas microbianas adicionadas a los detergentes, las cremas basadas en algas, el tratamiento de aguas residuales empleando bacterias, como ejemplos con los que contextualiza las clases de aplicaciones biotecnológicas que menciona.

Adicionalmente, cabe señalar, que durante la sexta clase, cuando Tomás se refiere a la relación entre los estudios de la Biología Molecular y su relación con la Biotecnología, hace mención a que a partir de la comprensión de los contenidos asociados a la replicación de la molécula del ADN, los estudiantes entenderán los fundamentos científicos de procesos biotecnológicos como la producción de alimentos transgénicos, de los cuales se escucha a través de los medios de comunicación, con lo que, busca acercar los contenidos a un contexto próximo a los estudiantes a través de situaciones de su cotidianidad, como podemos notar a continuación:

“[...] entonces, todos esos procesos que escuchamos a través de los medios, pues los estamos es aterrizando acá desde el punto de vista de la ciencia, ¿sí?, es decir, por qué la Biotecnología está produciendo, por ejemplo, variedades de maíz, por qué está produciendo alimentos transgénicos” (Clase P2.C6).

Respecto al uso del contexto escolar que hace el profesor, cabe mencionar que durante la exposición que Tomás realiza en la primera clase hace referencia a los equipos presentes en el laboratorio de Biotecnología del colegio, con lo cual contextualiza parte de los contenidos de enseñanza asociados al trabajo en un laboratorio de Biotecnología vegetal.

Adicionalmente, hace uso del contexto cotidiano, cuando al hacer referencia a los científicos que se ven en televisión o en películas, contextualiza el trabajo en equipo que se lleva a cabo como parte del trabajo en un laboratorio, tal y como podemos observar en el siguiente fragmento:

“[...] yo les decía a ustedes, tenemos poco a poco que ir aprendiendo a trabajar en un laboratorio, y eso se aprende es siendo disciplinados, entendiendo cuál es la funcionalidad de un laboratorio, y por qué hay zonas demarcadas, ¿sí?, o sea, hay una razón de ser. Ustedes saben que cuando, o los científicos que de pronto ustedes han visto en televisión o en películas, ustedes ven que ellos tienen unas formas de trabajar, sí, y si hay un grupo trabajando, pues cada uno se está

especializando en algo, una carrera concreta dentro del laboratorio, pero obviamente que cada uno aporta al trabajo en equipo para poder sacar adelante un proyecto. Entonces, por eso uno aprende, aprende a trabajar” (Clase P2.C1).

En cuanto al empleo del contexto nacional, cabe señalar que en esta misma clase, Tomás hace mención a la bioseguridad como las normas que están establecidas en el mundo para experimentar, contenido de enseñanza que contextualiza a partir una situación del contexto nacional, en la que se refiere al protocolo de Cartagena que hubo en 2002, donde se establecieron normas relacionadas con la bioseguridad y la protección de la biodiversidad, expresando además que eso es algo que deben conocer, expresión que nosotros relacionamos con la toma de decisiones informadas que persigue el profesor Tomás.

De igual manera, Tomás emplea el contexto nacional para acercar a los estudiantes a los contenidos de enseñanza, cuando manifiesta que los organismos genéticamente modificados se traducen en el mercado en productos que ya habrán visto como el tomate, muchas variedades de maíz transgénico y las rosas azules, de los que de pronto las personas no conocen cómo se producen, cómo es que manipulan los genes ni cómo hacen para producir nuevos atributos físicos, con lo que además de contextualizar los contenidos de enseñanza también problematiza la presencia de organismos modificados genéticamente en el mercado y la necesidad de contar con información, con la cual poder tomar decisiones al respecto.

Cabe señalar también, que a raíz de una pregunta que hace uno de los estudiantes, relacionada con una información que salió en las noticias y que tiene que ver con la intoxicación de cuatro personas con una yuca amarga, en cuanto a si esa yuca es modificada, Tomás hace mención a las técnicas biotecnológicas con las que se está cultivando el ñame (cultivo *in vitro*) en Colombia, señalando que esa yuca no necesariamente fue producto del trabajo biotecnológico, pero aprovechando para hacer referencia a productos que en Colombia son obtenidos a través de procesos de la Biotecnología.

Al inicio de la segunda clase Tomás señala que para aprender qué es Biotecnología es importante avanzar en los contenidos, pero también contrastarlos con el sector de la Biotecnología en Colombia, lo que le permite señalar la importancia de conocer cómo se incorpora la Biotecnología en la sociedad, en la cultura, en la industria y en los centros de investigación:

“[...] nos estamos acercando, precisamente, a mirar, qué es realmente la Biotecnología, y eso no se aprende leyendo de un libro la definición, si no se aprende en la medida que vamos avanzando, tanto en los contenidos, y a su vez, vamos contrastando esos contenidos con lo que pasa en el sector real, es decir, cómo la Biotecnología se incorpora en la sociedad, en la cultura, en la industria, en los centros de investigación, ¿sí?, para que ustedes vean, impacten, qué es lo que realmente se está haciendo, por lo menos en Colombia, lo más inmediato en el trabajo de la

*Biotecnología, y así cada día ustedes van comprendiendo y van teniendo más elementos para poder construir eso que llamamos Biotecnología, de acuerdo”* (Clase P2.C2).

En este sentido podemos mencionar también que, de acuerdo con Tomás, la visita a Corpoica permitirá a los estudiantes reconocer aspectos del contexto de la investigación en Colombia respecto al almacenamiento de genoma animal y genoma vegetal (germoplasma). Este comentario surge en la segunda clase, a raíz de la justificación realizada por el grupo de estudiantes al que le correspondió clasificar la proposición *Utilización de tecnologías de almacenamiento de genomas*, de lo que el profesor señala:

Así, en cuanto a dicha visita, cabe recordar que efectivamente, a partir de las preguntas del profesor Tomás, realizadas durante la cuarta clase, los estudiantes hacen mención a investigaciones desarrolladas dentro del contexto de la investigación biotecnológica en Colombia, por ejemplo:

*P.2: ¿Qué otra impresión de los que fueron? Cuéntenos, alguna cosa que les llamó la atención [...] E.11: lo de la papa me gustó mucho porque encontraron, o sea creo que encontraron o sacaron un clon, se llama perla negra, y me llamo mucho la atención, dicen que es una nueva papa, que sacaron, que encontraron, y que la van a sacar, bueno la van a trabajar y la van a sacar. Y suave, bien, estuvo excelente”* (Clase P2.C4).

Tomás también hace referencia al contexto de la Biotecnología a nivel mundial respecto a la incorporación de los alimentos transgénicos en el mercado. En este sentido, en la primera clase se refiere a las condiciones de los países europeos, bajo las cuales los alimentos transgénicos y los productos obtenidos a través de técnicas biotecnológicas son autorizados por las comunidades científicas para poder salir al mercado, tal y como podemos ver a continuación:

*“En los países, sobre todo en los europeos, son muy exigentes cuando un producto va a salir al mercado, un producto que ha sido tratado con técnicas biotecnológicas. Casi que los alimentos transgénicos, es difícil para que entren en el mercado, ¿sí? porque pues digamos ustedes saben que eso sigue siendo algo experimental, si también es cierto hay en el mercado algunos alimentos transgénicos, todavía no sabemos a ciencia cierta cuál va a ser el impacto a futuro. En algunos países se ha encontrado que un cierto alimento transgénico, que produce dermatitis, que produce alergias, y eso fue retirado del mercado de inmediato, pero se supone que antes de salir al mercado tiene que pasar por unas pruebas muy rigurosas, y también por la aceptación de las comunidades científicas; ellos tienen que revisar, los organismos de control, ¿sí?, entonces para que ustedes vean, que uno cree que pues todo lo que hay en el mercado, pues, bien, uno lo consume pero, uno no tiene idea de qué hay detrás de todos esos productos, cómo se, cómo se generaron, ¿sí?, qué tipo de tratamientos hubo, etcétera”* (Clase P2.C1).

Como podemos notar, en este caso, Tomás cuestiona los impactos de los organismos genéticamente modificados y nuevamente problematiza la importancia de conocer respecto a los procesos de obtención de los productos biotecnológicos.

Durante su discurso Tomás también busca contextualizar a los estudiantes respecto a las células madre y la clonación, así, de acuerdo a la información de una de las carteleras que expone, señala que las células madre se usan para subsanar enfermedades, por lo que es posible tratar con células madre a personas cuadripléjicas o con problemas de columna, y que hoy en día se conserva el cordón umbilical, porque es rico en células madre.

De lo anterior señalamos entonces, que si bien, durante las clases, Tomás no hace un uso frecuente de su conocimiento sobre el contexto, en las clases en las que sí lo hace, este conocimiento, le permite contextualizar la Biotecnología a los estudiantes, a partir del contexto cotidiano, escolar, nacional y mundial, y en varias ocasiones problematizar las implicaciones sociales de los productos y procesos biotecnológicos y reiterar la necesidad de contar con información, con la cual poder tomar decisiones al respecto.

De igual manera, a partir de la descripción anterior, recalamos la posibilidad de mostrar a los estudiantes el contexto de la investigación en Biotecnología en Colombia a partir de las salidas pedagógicas que Tomás suele realizar, en este caso, a través de la visita al centro de investigación Corpoica, con la cual los estudiantes pudieron conocer espacios reales de investigación, así como algunos de los proyectos desarrollados, a través de técnicas de Biología molecular y de manipulación genética, acercando de esta manera varios de los contenidos de enseñanza de las clases de Biotecnología a situaciones concretas de investigación biotecnológica en Colombia.

Así, aunque de acuerdo con la figura 17, notamos que, el componente contexto es el que establece menor cantidad de relaciones con los demás componentes del CDC en acción de Tomás, y que según la tabla 19, las frecuencias de estas relaciones, son bajas, notamos que el componente Contexto se relaciona con casi todos los otros componentes (a excepción de la evaluación) y en la mayoría de los casos observamos una complejidad de referencia, asociada a la perspectiva socio crítica con la que Tomás hace uso de su conocimiento sobre el contexto de la Biotecnología.

Vale la pena señalar además, que el uso del conocimiento sobre el contexto de la Biotecnología, le permite a Tomás complejizar la enseñanza de las ciencias, en la medida que le posibilita abordar de manera articulada distintos contenidos, entre ellos la clasificación de la Biotecnología por colores, las aplicaciones biotecnológicas asociadas a cada tipo de Biotecnología, la producción de los organismos genéticamente modificados y la regulación respecto a su

comercialización tanto a nivel nacional como mundial, problematizando tales contenidos y presentando al mismo tiempo a los estudiantes cuestiones sociocientíficas al respecto.

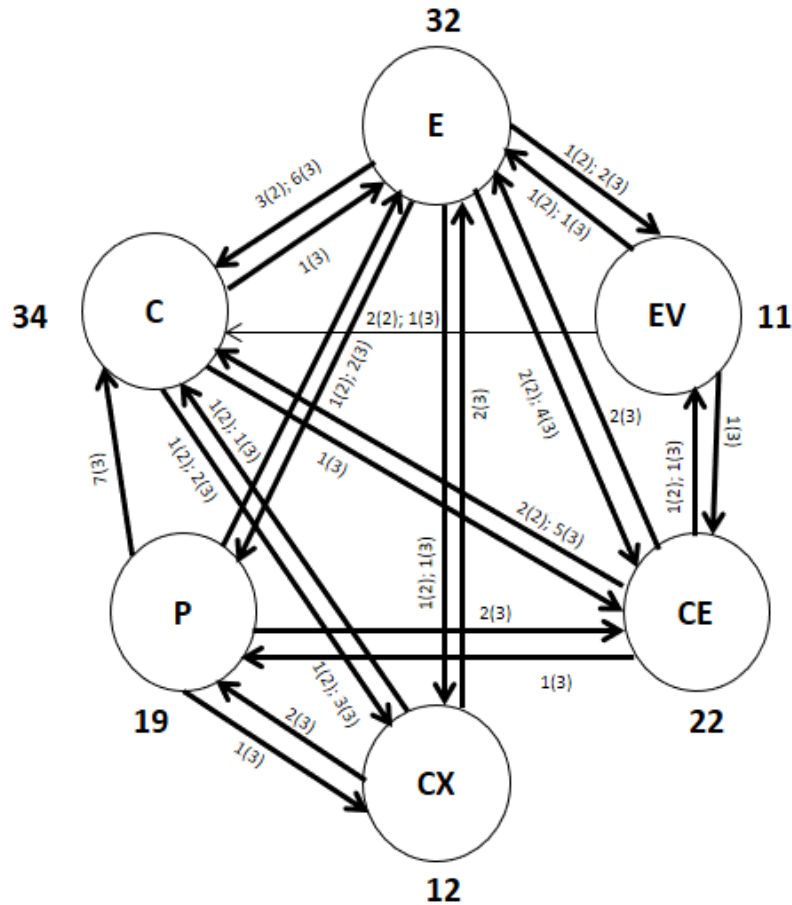
#### **4.4.3 El CDC declarativo del profesor Tomás**

A continuación, haremos referencia a las interpretaciones que hicimos del mapa del CDC declarativo de Tomás, construido a partir de la sistematización de sus respuestas a la entrevista semiestructurada con la que aplicamos el cuestionario del instrumento ReCo (Representación del Contenido) que elaboramos en esta investigación. Inicialmente presentaremos el mapa del CDC declarativo, luego nos referiremos a la estructura de este CDC, en términos de los componentes encontrados, su frecuencia, las relaciones entre componentes y los niveles de complejidad de tales relaciones. Finalmente presentaremos nuestra interpretación acerca de cada uno de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás, dentro de cada componente describiremos aspectos generales a través de algunos fragmentos que consideramos relevantes y retomaremos aspectos acerca de la frecuencia, del tipo de relaciones con otros componentes y de la complejidad de estas relaciones.

##### **4.4.3.1 Mapa del CDC declarativo del profesor Tomás**

A continuación, observamos el mapa del CDC declarativo de Tomás. Cabe recordar que el mapa deriva de la sistematización de las respuestas a las 15 preguntas del instrumento ReCo de acuerdo a lo descrito previamente en el capítulo de metodología. El mapa fue construido teniendo en cuenta el resultado de la suma de las cantidades de cada tipo de relación observada en las respuestas del profesor, así como el respectivo valor promedio de la complejidad de cada relación.

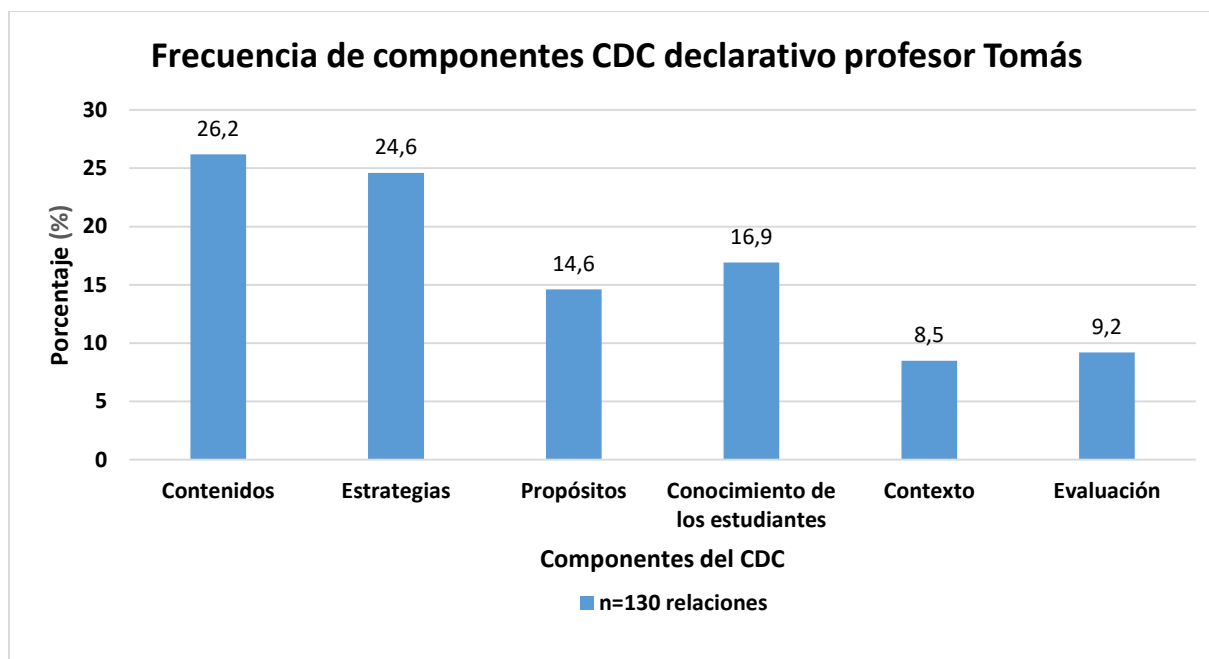




**Figura 20.** Mapa del CDC declarativo del profesor Tomás

#### 4.4.3.2 Frecuencia de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás

En la idea de analizar el CDC declarativo del profesor Tomás, hemos realizado una gráfica de barras que nos permite visualizar la frecuencia de cada componente en el mapa consolidado de su CDC declarativo. Dicha frecuencia corresponde al porcentaje en el que está presente ese componente en el mapa, respecto al número total de las relaciones que establecen los componentes, que para este caso son 130 ( $n = 130$ ).



**Figura 21.** Frecuencia de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás

De acuerdo con la gráfica, notamos que en el CDC declarativo del profesor Tomás, el 26,2% del total de las relaciones son establecidas por el componente Contenidos de enseñanza, y que el 24,6% son establecidas por el componente Estrategias de enseñanza, lo cual conlleva a que estos sean los componentes mayoritarios de su CDC declarativo. De otra parte, los componentes Conocimiento de los estudiantes, con un porcentaje de 16,9%, y Propósitos de enseñanza, con un porcentaje de 14,6%, al tener valores de frecuencia cercanos a la mitad de las relaciones que establece el componente Contenidos de enseñanza, también desempeñan un papel importante en el CDC declarativo de Tomás. De igual manera, observamos que los componentes Evaluación, con una frecuencia de 9,2% y Conocimiento del Contexto, con un 8,5% del total de las relaciones, son los componentes minoritarios del CDC declarativo de Tomás.

#### 4.3.3.3 Relaciones entre componentes y niveles de complejidad de las relaciones

A continuación, presentamos una tabla que nos permite visualizar las relaciones entre los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás.

Teniendo en cuenta los valores de los porcentajes de las relaciones entre componentes del CDC declarativo de Tomás, hemos establecido tres rangos de porcentajes: Bajo de 0 a 4,5%, Medio de 4,6% a 9,4% y Alto de 9,5% a 13,8%.

En la tabla, cada rango de porcentaje y el nivel de complejidad de cada relación están representados de la misma manera que se ha venido haciendo.

Componente Destino \ Componente Origen	C	E	P	CE	EV	CX
C		1,5% →	-	1,5% →	-	6,2% →
E	13,8% →		4,6% →	9,2% →	4,6% →	3,1% →
P	10,8% →	4,6% →		3,1% →	-	1,5% →
CE	10,8% →	3,1% →	1,5% →		3,1% →	-
EV	4,6% →	3,1% →	-	1,5% →		-
CX	3,1% →	1,5% →	3,1% →	-	-	

**Tabla 20.** Frecuencia de las relaciones entre componentes del mapa del CDC declarativo del profesor Tomás (n= 65). El color azul representa el rango de porcentaje bajo, el color anaranjado representa el rango medio y el color verde representa el rango alto. → representa complejidad de referencia (perspectiva socio crítica de la producción), → representa complejidad intermedia (perspectiva tecnológica fundamentada de la producción) y - - - → representa complejidad inicial (perspectiva técnica de la producción).

El análisis de la tabla 20, nos deja ver, como ya habíamos señalado, que en el CDC declarativo del profesor Tomás el **componente Contenidos de enseñanza** es el que genera mayor número de relaciones con los otros componentes. Así, podemos observar, que los Contenidos de enseñanza son componente de origen cuando las Estrategias, el Conocimiento de los estudiantes y el Contexto son componentes de destino, las dos primeras relaciones con frecuencia baja, y la última con frecuencia media y en todos los casos con una complejidad promedio de referencia. De igual manera, observamos que el componente Contenidos es componente de destino cuando se relaciona con los demás componentes, las relaciones con Estrategias, Propósitos y Conocimiento de los estudiantes tienen un porcentaje alto de aparición, todas ellas con complejidad de referencia; la relación con la Evaluación tiene una frecuencia media y complejidad intermedia, mientras que la relación con el Contexto tiene una frecuencia baja, pero una complejidad de referencia. Observamos también, que no aparece la relación Contenidos de enseñanza a Propósitos, ni la relación Contenidos de enseñanza a Evaluación. La presencia de ocho de las diez posibles relaciones entre el componente Contenidos de enseñanza y los otros componentes del CDC, puede significar que el CDC declarativo del profesor Tomás está enfocado en su conocimiento de los Contenidos de enseñanza, el cual articula con los demás componentes de su CDC declarativo.

Por su parte, el **componente Estrategias de enseñanza** es el que precede en número de relaciones al componente Contenidos de enseñanza. En este sentido la tabla XXX nos deja ver que el componente Estrategias de enseñanza es componente de origen cuando se relaciona con los demás componentes, todas las relaciones son de complejidad de referencia, la relación Estrategias a Contenidos tiene un porcentaje alto de aparición, las relaciones con Propósitos, Conocimiento de los estudiantes y Evaluación tienen un porcentaje medio de aparición, y la relación con el Contexto un porcentaje bajo. También podemos observar que el Componente Estrategias es componente de destino cuando se relaciona con los demás componentes, la única relación con un porcentaje medio de aparición es la que se establece con los Propósitos, la cual tiene una complejidad de referencia, las otras relaciones tienen frecuencia baja y complejidad de referencia. Lo anterior nos deja ver que, en el CDC declarativo de Tomás, el componente Estrategias ejerce un papel integrador.

En cuanto al **componente Conocimiento de los estudiantes**, encontramos que se establecen ocho relaciones, cuatro como componente de origen, con los componentes Contenidos, Estrategias, Propósitos y Evaluación, la primera de estas relaciones con porcentaje alto de aparición y complejidad de referencia, la segunda con frecuencia baja y complejidad de referencia, las otras dos con un porcentaje bajo de aparición y complejidad de referencia; y cuatro como componente de destino, con los componentes Contenidos, Estrategias, Propósitos y Evaluación, todas ellas con complejidad de referencia y porcentaje bajo de aparición, a excepción de la relación con las Estrategias, cuya frecuencia es media. Lo anterior nos indica que, en una proporción considerable, el conocimiento de Tomás acerca de los estudiantes, influye en algunos de los componentes del CDC, lo que conlleva a que este componente desempeñe un papel significativo en la integración del CDC en acción de Tomás.

Respecto al **componente Propósitos de enseñanza** notamos que aparecen cuatro relaciones cuando los Propósitos de enseñanza son componente de origen, todas ellas con complejidad de referencia (falta la relación Propósitos a Evaluación), vemos también que la relación Propósitos a Contenidos tiene una frecuencia alta, la relación Propósitos a Estrategias tiene una frecuencia media, mientras que las otras dos relaciones tienen un porcentaje bajo de aparición. Cuando los Propósitos son componente de destino aparecen tres relaciones, con el componente Estrategias la frecuencia es media y la complejidad de referencia, con los componentes Conocimiento de los estudiantes y Contexto, la frecuencia es baja y la complejidad de referencia. Lo anterior indica que en el CDC declarativo del profesor Tomás, su conocimiento sobre los Propósitos de enseñanza juega un papel significativo, en la integración y articulación de los demás componentes.

En cuanto al **componente Evaluación**, podemos observar que en el CDC declarativo aparecen cinco de las diez relaciones posibles, tres en las que es componente de origen, con los componentes Contenidos, Estrategias y Conocimiento de los estudiantes, la primera relación de frecuencia media y complejidad intermedia, y las otras con frecuencia baja y de complejidad de referencia. El componente Evaluación es componente de destino, con los componentes Contenidos, Estrategias y Conocimiento de los estudiantes, en el primer caso la frecuencia es media y la complejidad es de referencia, en los otros dos casos la frecuencia es baja y la complejidad es de referencia. Lo anterior nos deja ver que el componente Evaluación, es uno de los componentes minoritarios del CDC declarativo del profesor Tomás, por lo que no participa de manera considerable en la integración de este CDC.

Respecto al **componente Contexto** observamos que aparecen seis de las diez relaciones posibles, tres en las que es componente de origen, con los componentes Estrategias, Contenidos y Propósitos, en todos los casos la frecuencia baja y la complejidad es de referencia. El componente Contexto es componente de destino, con los componentes Contenidos, Estrategias y Propósitos, en todos los casos la complejidad es de referencia, en el primer caso la frecuencia es media, en los otros dos casos la frecuencia es baja. De lo anterior podemos decir que, el conocimiento sobre el contexto, influencia la complejidad del CDC declarativo de Tomás, en cuanto las relaciones que establece son de nivel de referencia.

#### **4.3.3.4 Descripción de los componentes del CDC declarativo del profesor Tomás**

Buscando ampliar y comprender mejor las características de los componentes del CDC declarativo de Tomás, en lo que sigue intentaremos describir cada componente de acuerdo a lo encontrado durante el proceso de sistematización de las respuestas al cuestionario ReCo.

##### **4.3.3.4.1 Conocimiento sobre los contenidos de enseñanza**

Durante el transcurso de la entrevista semiestructurada con la que se aplicó el instrumento ReCo, Tomás mencionó variados contenidos de enseñanza tópicos específicos, de forma tal que éste componente se constituye en el componente mayoritario de su CDC declarativo (26,2%) (Figura 21). A continuación, presentamos nuestra interpretación del componente Contenidos de enseñanza, teniendo como subcategorías de sistematización las siguientes: *Naturaleza de la Biotecnología, Contenidos conceptuales, Contenidos procedimentales y Contenidos actitudinales.*

- **Aspectos epistemológicos e históricos de la Biotecnología**

En algunas de sus repuestas, Tomás se refiere a la enseñanza de elementos que hacen parte del objeto de la Biotecnología.

Es así como, en su respuesta a la pregunta 4, como podemos ver a continuación, Tomás señala que los estudiantes relacionan la raíz bio del término Biotecnología con vida, y que cuando se les pregunta por tecnología, piensan en conceptos como computadores, fábrica y equipos, pero que se les dificulta establecer relaciones entre ambos componentes del término, y que se les dificulta entender aún más, cuando él les enseña que la Biotecnología utiliza la tecnología, pero a partir del uso de los seres vivos y de poder hacer modificaciones, lo que, desde nuestra interpretación, corresponde a un contenido de enseñanza asociado al objeto de la Biotecnología.

*“Bueno, digamos que bio no es tampoco tan desconocido porque cuando vieron Biología igual también... entonces cuando digo bios lo relacionan con vida, que claro ahí habría una discusión porque no es lo mismo hablar de vida, que de seres vivos y ¿tecnología?, entonces piensan en los computadores, piensan en una fábrica, en equipos y entonces, ¿qué relación hay entre esto y esto?, ahí ya se quedan más cortos, y sobre todo cuando uno dice “la Biotecnología sí utiliza esas tecnologías, pero parte de los seres vivos, parte de poder hacer modificaciones” entonces ahí sí se quedan un poco más cortos...” (P2.P4).*

En ese sentido, cabe señalar que Tomás también expresa como contenido de enseñanza un aspecto fundamental del objeto de la Biotecnología: el desarrollo de aplicaciones, las cuales surgen de la investigación que se lleva a cabo al interior de la Biotecnología. Es así como en su repuesta a la pregunta 7, manifiesta que, a través de las visitas interinstitucionales, que realiza, busca que los estudiantes dimensionen lo que significa investigar en Biotecnología y las razones por las que en ciertos sectores se desarrollan ciertas aplicaciones biotecnológicas, como podemos ver a continuación:

*[...] también por la estrategia que me ha funcionado muy bien de confrontar los conocimientos teóricos con los prácticos, es decir, no sólo a través de las prácticas de laboratorio sino a través de las visitas interinstitucionales que hacemos, que tienen varios propósitos, uno, que ellos dimensionen lo que significa investigar en Biotecnología, cuáles son esas aplicaciones que en el sector se están dando y porqué y por otro lado, que también confronten, los conocimientos que ellos están viendo en clase y los ubiquen en un contexto, o sea que tienen no sólo un sentido y un significado, sino que tienen una aplicación, que eso es lo más importante...” (P2.P7).*

Con lo que reitera que enseña a sus estudiantes que el conocimiento biotecnológico conlleva a una aplicación, un aspecto epistemológico, que corresponde a una postura tecnocientífica de la Biotecnología.

De igual manera, cabe mencionar que Tomás se refiere constantemente a la relación entre la Biotecnología y los procesos productivos. En este orden de ideas, en su respuesta a la pregunta 7 señala que, a través del trabajo por proyectos, en especial, desde el gran proyecto del planteamiento de una biorrefinería, ha podido encadenar varias aplicaciones de la Biotecnología, las cuales de alguna manera estaría asociando a los procesos productivos. Manifiesta así que a través de este proyecto los estudiantes han comprendido de manera sistémica, como a partir de una biomasa se pueden generar diferentes bioproductos como biocombustibles, bioabonos, biofertilizantes y extracción de aceites vegetales.

En esta misma respuesta Tomás hace referencia concreta a la obtención de bioabono como proceso biotecnológico industrial, señalando como contenidos de enseñanza la relación entre materia prima, proceso o transformación y producto obtenido, así como la comprensión de los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en tales transformaciones:

*“[...] por ejemplo bioabono, entonces partimos de la materia prima que son los residuos orgánicos, entonces consideramos sus características, todo, ahí ¿qué hacemos con estos residuos orgánicos? Porque una cosa son la materia prima, otra es el producto que voy a obtener y el proceso o la transformación que va a sufrir esa materia prima, entonces para mi es importante que ellos comprendan como es que se van dando esas transformaciones y esas transformaciones tienen que ver con procesos físicos, químicos, biológicos, obviamente y hacerlos conscientes de lo que sucede allí” (P2.P8).*

Con lo que el profesor claramente hace referencia a elementos epistemológicos que constituyen parte de los contenidos que declara enseñar, entre ellos la transformación implicada en la producción biotecnológica, y de allí, la obtención de productos, como elementos del objeto de la Biotecnología, que, desde nuestra interpretación, reiteran la perspectiva tecnocientífica de la Biotecnología que caracteriza al profesor Tomás.

En su respuesta a la pregunta 8, Tomás hace referencia además a la interdisciplinariedad de la Biotecnología, lo anterior cuando señala, que uno de sus propósitos es que los estudiantes confronten sus preconceptos con los conceptos científicos, *“porque igual hablar de Biotecnología, indudablemente tenemos que hablarlo desde la Biología o Biología molecular y desde ahí pues empezar a trabajar en unos conceptos que sean claros” (P2.P8)*, al mismo tiempo que reconoce la participación del conocimiento científico, de ciencias como la Biología molecular en el conocimiento Biotecnológico. En este orden de ideas, cabe señalar que para Tomás la

Biotecnología también incorpora conocimiento tecnológico, lo anterior, es claro, cuando en su respuesta también manifiesta: *“Sí, hay un conocimiento tecnológico, precisamente el hecho de haber vinculado practicantes de la Universidad Católica, de la facultad de Ingeniería Industrial, obedece a que indudablemente el trabajo de la Biotecnología tiene que ver con la parte tecnológica...”* (P2.P8). Lo que lo lleva a precisar que para él la Biotecnología es una tecnociencia, como podemos ver a continuación:

*“Sí, entonces yo decía que desde el concepto donde yo me ubico en términos de Biotecnología como una tecnociencia, también yo considero que la parte tecnológica está allí, obviamente porque finalmente todo este conocimiento se aplica y genera unos productos, unos servicios, pero en ese proceso de transformación, ahí estamos hablando de procesos, entonces fue ahí donde te comenté que yo por eso incorporé estudiantes de último semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica, el propósito desde la parte de ingeniería, que nos ayudaran a aterrizar el concepto de proceso industrial o proceso productivo, entonces eso me ha parecido importante, haber vinculado desde la ingeniería porque ellos están comprendiendo como es que se dan éstos procesos de transformación, cómo se representan y que entiendan desde ahí, qué es eso de proceso industrial, incluso trabajamos hasta la simbología para que ellos representen el proceso productivo...”* (P2.P8).

Desde nuestra interpretación, el hecho que Tomás otorgue a la Biotecnología el estatus epistemológico de tecnociencia, es coherente con lo declara enseñar, en cuanto al objeto de la Biotecnología de generar unos productos y servicios, a través de la aplicación del conocimiento biotecnológico.

Del fragmento anterior podemos notar además que Tomás expresa enseñar a sus estudiantes a representar el conocimiento (lo que nosotros hemos venido asociando a la modelización) a través de maquetas y símbolos, lo que asociamos a un contenido epistemológico, en cuanto interpretamos que para Tomás la modelización es una forma de representar y acercarse al conocimiento, tanto científico, como tecnológico y tecnocientífico y por tanto biotecnológico. En cuanto a los aspectos históricos de la Biotecnología, es necesario tener en cuenta la respuesta que Tomás da a la pregunta 12, la cual indaga particularmente por los aspectos históricos y epistemológicos que tiene en cuenta durante la enseñanza de la Biotecnología:

*“Cuando yo enseño, la parte de la epistemología la relaciono con la historia [...] eso sí es obligado el capítulo de historia de la Biotecnología, de dónde viene la Biotecnología. Entonces yo he tenido que hacer un recuento no solamente como lo plantea la cartilla de las cuatro generaciones, sino cómo se ha desarrollado el conocimiento a lo largo de la historia, y yo siempre les insisto, mira, ellos, las grandes culturas como la egipcia, ellos no hablaban de Biotecnología obviamente, es que ni siquiera de los microorganismos, pero hacían queso, hacían pan, vino, cerveza, todo eso,*



pero mire la ciencia como va madurando, entonces yo les voy mostrando y ¿quién fue éste señor Pasteur y por qué es importante en la Biología y en la Biotecnología? Y después les digo, ¿Cómo se llegó por ejemplo a la teoría celular del siglo XIX y toda la teoría de evolución? y después con los trabajos de Mendel y de la herencia y todo éste cuento del ADN, y del modelo del ADN y porque llegamos allá. Entonces yo cronológicamente les voy diciendo el conocimiento se va construyendo y son comunidades que están encargadas y hay visiones, hay unos que están a favor y otros están en contra, ¿sí?, entonces yo les muestro que el conocimiento no surge porque alguien lo dijo y ya, esa es la ley, no, es un trabajo que el hombre con su capacidad de pensar, de experimentar y de obviamente trabajar con otras personas y poner su conocimiento es que van madurando las ideas y se van confrontando. Entonces yo siempre les muestro no es lineal, no es una historia lineal, primero ocurrió esto, segundo esto, no, ¿Por qué el ADN y la estructura del ADN se conoció en ese momento?, ¿la Biotecnología moderna de dónde viene?, ¿Por qué hablamos de Biotecnología Moderna? Entonces para que ellos entiendan que el conocimiento evoluciona y así como para una época fue válido, para otra puede no serlo, entonces que ellos vayan entendiendo esa dinámica del conocimiento...” (P2.P12).

Con lo que, podemos notar, que durante su respuesta el profesor explicita que aborda contenidos asociados a la historia de la Biotecnología, entre ellos: de dónde viene la Biotecnología, cómo se ha desarrollado el conocimiento a lo largo de la historia, hitos de la historia de la Biotecnología (procesos biotecnológicos desarrollados por las culturas antiguas como la egipcia, aportes de Pasteur, teoría celular, teoría de la evolución, trabajos de Mendel, investigación sobre el ADN) en la idea de mostrarles que el conocimiento se va construyendo en una dinámica que no es lineal, con lo que al mismo tiempo, también hace referencia a un aspecto epistemológico de la Biotecnología, relacionado con la forma en la que se produce el conocimiento biotecnológico.

Adicionalmente, cabe señalar que en el transcurso de su respuesta Tomás también plantea la importancia de mostrar a los estudiantes que el conocimiento no es neutral, lo que implica abordar la historia, el contexto y las implicaciones para la sociedad del conocimiento biotecnológico como contenidos de enseñanza, a los que nos referiremos en el siguiente apartado.

- **Aspectos sociológicos de la Biotecnología**

A través de sus respuestas, Tomás constantemente reconoce la relación entre la Biotecnología con otros sistemas de la sociedad, las cuales, desde nuestra interpretación, declara presentar a los estudiantes desde el cuestionamiento tanto de los impactos positivos como negativos de la Biotecnología, es decir desde una perspectiva socio crítica.

Así, durante su respuesta a la pregunta 1, Tomás hace referencia al uso de un video llamado *La granja de Frankenstein*, con el cual dice, pudo abordar algunas aplicaciones de la Biotecnología, como la obtención de animales transgénicos, poniendo en discusión los beneficios o perjuicios de tales aplicaciones. De igual manera, se refiere a la realización prácticas de laboratorio relacionadas con cultivos *in vitro*, con las cuales dice haber abordado la existencia y la situación de esos cultivos en países como Argentina, Estados Unidos y México, con lo que, al parecer, el profesor cuestiona los impactos de tales productos biotecnológicos.

*“Hay varias prácticas, yo digamos he trabajado cultivos in vitro, cultivos vegetales, pues uno, dar a conocer la técnica como tal, dos, el que ellos vean la existencia de unas células totipotentes en un material biológico que generan nuevos tejidos, para ellos es algo nuevo ¿cómo así profe que a partir de ésta práctica yo puedo obtener una nueva planta, un nuevo organismo, un nuevo individuo? Entonces parece mágico, entonces, no, analicemos qué tipo de células están allí, qué características tienen éstas células y qué pasa cuando están en un medio que tienen éstos componentes, entonces empezamos a analizar muchas condiciones allí, cuando ellos ven, y además les hago ver, mediante la práctica que en la realidad eso existe, les muestro qué pasa en esos cultivos, qué pasa en Argentina, en Estados Unidos, en México” (P2.P1).*

En este sentido, y en esta misma respuesta Tomás señala que a partir de la lectura de artículos de la *Revista Innovación y Ciencia* ha abordado los cultivos *in vitro* como aplicación biotecnológica, y ha propiciado la discusión acerca de los aportes de ésta técnica y las razones por la que se emplea en distintos países del mundo, con lo que ha llegado al tema de los monopolios, y a los intereses económicos implicados en la Biotecnología. A este respecto el profesor manifiesta que lleva a cabo un trabajo interdisciplinar con el profesor de sociales, a quien le pide que en sus clases desarrolle ciertos temas como el de los monopolios. El profesor manifiesta así que, al abordar el tema de los intereses económicos asociados a la Biotecnología, también ha abordado el tema de las semillas y su monopolización a través de la venta y siembra de semillas certificadas, con lo que los estudiantes hacen unas reflexiones interesantes acerca no sólo del conocimiento sino acerca de las consecuencias de la aplicación de ese conocimiento biotecnológico a nivel social, incluidos los intereses políticos allí inmersos.

En este sentido el profesor, al atender la pregunta: “lectura crítica ¿qué significa lo crítico ahí?, en tu práctica” manifiesta que cuando habla de crítico, habla de pensamiento crítico, de un pensamiento que lleve a los estudiantes a leer una situación determinada o un hecho de la Biotecnología tomando distancia, para así poder “*ver ese conocimiento qué impactos puede tener para un sector, para una población, pero mirando también desde un punto de vista de cómo nos benefician, cómo nos puede perjudicar, cómo nos puede proyectar, es decir buscando cómo es la esencia de ese conocimiento, pero que haya un acto de reflexión del estudiante y también una*

*postura, eso es muy importante, no sólo es decirles, sino yo qué posición tomo frente a ellos” (P2.P1).*

Con lo que evidentemente da cuenta de una posición crítica de la Biotecnología, que influencia sus estrategias y contenidos de enseñanza.

De otra parte, y como ya habíamos señalado, en su respuesta a la pregunta 12, Tomás declara contextualizar el conocimiento que aborda en clase, refiriéndose a dicha contextualización en términos históricos y de relaciones entre tales acontecimientos, lo que lo lleva a mencionar que ha trabajado de manera articulada con el profesor de Sociales, acerca de ciertos aspectos relacionados con la historia de la ciencia y las relaciones de la Biotecnología en distintos sistemas de la sociedad, como podemos ver a continuación:

*“[...] Entonces el reto es ese, venga trabajemos conjuntamente, yo desde la visión de las ciencias ¿cómo es éste tema, de la producción agrícola, de las semillas certificadas, y qué beneficios trae o no a los pueblos y usted mírela desde el otro lado?, claro él lo mira desde la parte ideológica y desde la parte dominante, entonces es interesante, el estudiante qué estará pensando, porque el profesor de Sociales le está diciendo esto y el de Biotecnología le está diciendo esto [...] yo siempre les digo que todo conocimiento tiene una historia, tiene un contexto y tiene unas implicaciones para la sociedad, entonces así como la Biotecnología se muestra como algo que es innovador y que ayuda a la humanidad y que mejora esos procesos, también hay que mirar cuál es el trasfondo, qué hay detrás, quienes manejan estas empresas biotecnológicas, los gobiernos están detrás, entonces para mostrarles que el conocimiento no es neutral [...] Y eso es lo que trato de alguna manera de transmitir, cuando yo me expreso a los estudiantes, siempre expresando que éste conocimiento no es etéreo, no, tiene un asiento en la realidad, está ahí arraigado, ¿sí?, ¿quiénes están manejando éste conocimiento y de qué manera? (P2.P12).*

Así, manifiesta, que de manera conjunta con el profesor de Sociales ha abordado la cuestión sociocientífica de los biopoderes ejercidos por multinacionales biotecnológicas como Monsanto, en la idea de presentar a los estudiantes que el conocimiento no es neutral, sino que surge en una sociedad, por lo que sus finalidades dependen del contexto histórico y político en el que se desarrolla, así como de los intereses de los empresarios, lo cual desde nuestra interpretación, denota una posición sociocrítica de la Biotecnología en el profesor Tomás, que influencia considerablemente los contenidos de enseñanza que declarar abordar.

Finalmente, en este sentido, en su respuesta a la pregunta 13, Tomás señala que la Biotecnología le permite establecer diferentes relaciones entre situaciones de la vida cotidiana y distintos contenidos de enseñanza relacionados con la investigación y el emprendimiento, lo que lo lleva a cuestionar si la Biotecnología es interdisciplinaria o es un metaconocimiento.

- **Contenidos conceptuales**

En su respuesta a la pregunta 1 Tomás hace mención a contenidos conceptuales relacionados con los cultivos *in vitro*: Características de las células totipotentes, características de los medios de cultivo empleados en la técnica de cultivos *in vitro*, así como a procesos celulares, el ADN, recombinación genética, Ingeniería Genética, Biotecnología vegetal y tejidos vegetales, señalando que, el abordaje de tales conceptos es importante para comprender el tema de las aplicaciones biotecnológicas, señalando además: “considero que mi interés no es, que lleguen a un nivel de profundidad y conocimiento como tal, *que tengan sí unos conocimientos básicos de Biotecnología y que sepan que a partir de esos conocimientos se han generado muchas aplicaciones bien o mal, están allí en el sector real y que eso conduce a investigaciones a muchas cosas que el hombre ha hecho y está haciendo ¿sí?*” (P2.P1).

Con lo que, además, desde nuestra interpretación, subyace un cuestionamiento a las aplicaciones biotecnológicas, coherente con lo que manifiesta durante toda la entrevista.

De igual manera, en la respuesta a la segunda pregunta, el profesor hace referencia a contenidos de la Biología y la Química, incorporados en el tema de la fermentación, como la reacción química que representa el proceso, con lo que, al mismo tiempo, Tomás da cuenta de su perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología.

“Bueno, en primer lugar que ellos, conceptualicen algunos temas de Biotecnología, que sepamos que la Biotecnología también, no soy muy partidario que se hable como ciencia, pero sí considero que se manejan contenidos de la Biología, de la Química, etc., entonces, me parece importante que ellos aterricen esos conocimientos, entonces si estamos hablando de la fermentación, pues entonces lo que quiero es que ellos aprendan en qué consiste ese proceso de fermentación, como desde química podemos ver una ecuación que nos represente el proceso fermentativo ¿sí? Para mí es importante que nos entendamos frente a esos conceptos que venimos manejando en Biotecnología” (P2.P2).

De manera particular, durante su respuesta a la pregunta 14 Tomás manifiesta que cuando empezó a enseñar Biotecnología en el colegio, planteó inicialmente una secuencia de contenidos organizada por módulos, como podemos ver en el siguiente fragmento de su respuesta, en la que nos cuenta a manera de reflexión los contenidos que ha decidido enseñar y el porqué de tales decisiones:

“[...] entonces yo dije, tengo que arrancar por eso, entonces, por inscribir a ellos en un conocimiento que es la Biotecnología y empezar a ver cómo abordamos el término como para

que ellos le encuentren sentido y lo puedan confrontar con la vida real, con la cotidianidad de los estudiantes, pero tengo también que desarrollar unos conocimientos de ciencias, de Microbiología, de Genética, etc., entonces fue cuando dije “voy a organizarlo por módulos, por módulos me puede funcionar” en vez de unidades o temas sueltos, porque yo tengo unos propósitos muy claros de cada módulo, evaluar el módulo y que vayan encadenados, entonces el primer módulo lo llame **Fundamentos de Biotecnología**, ahí veo qué es Biotecnología, los tipos de Biotecnología, vemos también biomoléculas, parte de Genética y algo de Microbiología. El segundo módulo tendrá que ser cómo estos conocimientos se llevan al escenario de la práctica y fue cuando me puse a pensar y dije que iba a llamarlo **Bioprocesos** y desde Bioprocesos voy a trabajar extracción de ADN, el tema de los bioabonos, entonces empecé a hacer un listado, pero antes de Bioprocesos, yo tengo que ser sincero con ustedes, yo lo llamé Agroindustria ¿de dónde?, yo leí en algún lado y ahí fue donde vi que aquí debía enseñar cómo se hace el kumis, el yogurt, panificación, ¿sí? y eso lo abordé en el primer año [...] Entonces, esto sí que les gustaba a los estudiantes porque lo asimilaban a la cocina y entonces rico, ‘hoy vamos a hacer galletas, hoy vamos a hacer kumis’, no pues fascinados, yo les dije sí, ‘pero es que no es el mismo kumis que usted prepara en su casa, ni el mismo yogurt, porque aquí vamos a hablar de unos animalitos, de unos microorganismos que son unas bacterias, y todo el cuento’ y entonces yo vi que en la jornada de la mañana y la tarde hacían agroindustria, pero estaba muy focalizada al tema de alimentos y pues yo mismo me hice la crítica ‘¿y eso sí será Biotecnología?’, claro, estaba en esa línea, entonces fue cuando dije ‘no, por aquí no es’ entonces vamos a trabajar bioprocesos, que le encontré más sentido, aterriza más los contextos, más abarcador, más relacionable; y en el tercero, yo voy a trabajar la **Técnica in vitro**, porque el laboratorio tiene unas condiciones y yo no puedo mezclar una cosa con otra, o sea, tengo que dejar sólo ese espacio para in vitro, no voy a hacer ningún otro tipo de práctica, entonces eso lo dejé aparte para trabajar y dije, pues ya el tiempo no me da más porque es que esto yo lo veo en el ciclo 5, esto en el ciclo 6, pero aquí me queda un espacio, pues éste va a ser el cuarto módulo y lo voy a llamar **Proyecto Integrador**, éste es el proyecto que ha seleccionado el estudiante de una de las aplicaciones de la Biotecnología y lo va a desarrollar y lo va a sustentar porque ese es su trabajo final del énfasis, ese proyecto, y ese proyecto tiene unas condiciones y unas características, y está respaldado por las personas que yo llevo para que fortalezcan este proyecto, entonces algunos hablarán de in vitro, de biofertilizantes, otros hablarán de bioplaguicidas, otros hablarán de bioabonos, de extracción de aceites, ¿sí? y aquí es lo que yo planeo, éste proyecto tiene que ser la oportunidad para yo poder ver esos aprendizajes...” (P2.P14).

Como podemos notar, los contenidos de enseñanza a los que Tomás se refiere en su respuesta corresponden a unos conceptos básicos que relaciona con la Naturaleza de la Biotecnología, y que decide incorporar no sólo a partir de su reflexión acerca de la Biotecnología y su enseñanza, sino también, luego de reconocer y reflexionar acerca de las condiciones institucionales bajo las

cuales poder desarrollar su proyecto de enseñanza de la Biotecnología para los estudiantes de los ciclos 5 y 6 de la jornada noche.

- **Contenidos procedimentales**

En cuanto a los contenidos procedimentales, encontramos que en las respuestas de Tomás subyace la idea del aprendizaje de ciertos procedimientos involucrados en los procesos biotecnológicos, los cuales son abordados a través de prácticas de laboratorio en el colegio, la ejecución de los proyectos planteados por los estudiantes en ciclo 6 y las salidas pedagógicas a diferentes centros de investigación.

Así, y como ya hemos señalado, en su respuesta a la tercera pregunta Tomás hace referencia a la enseñanza de procedimientos implicados en la obtención de cultivos *in vitro*, aplicación biotecnológica que, además, cuestiona en términos de sus impactos.

De otro lado, en su respuesta a la segunda pregunta, Tomás hace referencia a la estrategia de trabajo por proyectos, y de allí, a la posibilidad de elaborar productos asociados a aplicaciones biotecnológicas, como el yogurt, obtenido a través de procesos fermentativos, de lo cual señala, busca poner a los estudiantes en una situación de aplicación para que ellos generen propuestas innovadoras, como podemos ver a continuación:

*“Que entendamos qué procesos hay allí y que tiene que ver con Biotecnología, después de eso, de evidenciar una aplicación, entonces, ¿qué podemos hacer nosotros?, como proyectos que tengan que ver con el tema de la fermentación, “Ah profe, ¿qué tal si hacemos un yogurt que no esté en el mercado, digamos de otro fruto?”, ¿qué cambiaríamos de un yogurt tradicional? Es como poniéndolos en esa situación de aplicación y ellos qué podrían hacer...”* (P2.P2).

En ese mismo sentido, durante su respuesta a la pregunta 14, y como acabamos de señalar, Tomás hace referencia a contenidos procedimentales asociados a los módulos que plantea dentro de su propuesta curricular para la enseñanza de la Biotecnología, en este orden de ideas manifiesta que, durante el cuarto módulo, llamado proyecto integrador, los estudiantes seleccionan una aplicación de la Biotecnología, y desarrollan sus proyectos con apoyo de personas ajenas a la institución, generalmente practicantes – estudiantes de ingeniería de las universidades donde también trabaja Tomás-. Así, el profesor dice que, en el desarrollo de este módulo, él se encarga de realizar una actividad práctica para todos, por ejemplo, sobre biocombustibles, y que los estudiantes deben presentar o dejar planteado el procedimiento para obtener el producto asociado a su proyecto, con lo cual comprender los procedimientos implicados en dicha producción.

*“[...] La idea es que tengan, yo me encargo por lo menos de hacer una práctica, por ejemplo, en biocombustibles una práctica, general para todos y ya los que elijan pues ellos tienen que mirar de qué manera pueden presentar, por ejemplo, en aceites obviamente lo hacen un poco artesanal, ellos dicen cogimos éstas semillas e hicimos éste tratamiento y extrajimos éstas góticas de aceite, ya con eso se comprendió en qué consistía. Ahorita está trabajando un grupo Orquídeas, pero pues tú sabes que Orquídeas, eso no se obtiene en un día, entonces dejen todo planteado, la composición del medio, luego cómo se hace la siembra y si no puede traer orquídeas, simule, traiga una, por ejemplo, traiga algo que diga esto es la orquídea... como algo demostrativo”* (P2.P14).

En esta misma respuesta Tomás hace referencia a contenidos procedimentales, relacionados con las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y Buenas prácticas de Almacenamiento (BPA), que dice, están involucrados en el eje calidad – ambiente de su propuesta curricular y que son necesarios para incrementar el desempeño de los estudiantes en las prácticas de laboratorio:

*“El otro eje es el de **calidad-ambiente**, éste surgió porque resulta que para las prácticas de laboratorio yo necesitaba que ellos manejaran las BPM y las BPA, entonces, incluso, desde el mismo lavado de manos en adelante, entonces empecé a montar eso y alrededor el tema de calidad, unos ingenieros me ayudaron a montar unos talleres en temas de calidad, en temas de infraestructura, condiciones del ambiente, luminosidad y todo esto, ¿para qué?, para que cuando llegáramos al laboratorio pues analizáramos toda la situación ¿Qué hace un laboratorio que tenga una certificación de calidad? ¿Eso afecta el trabajo que vaya a hacer uno? “claro profe, es que mire, ¿Cómo no se nos van a contaminar los medios de cultivo, si hay un filtro de aire?, esas lámparas no sirven”* Entonces la idea era esa, llevarlos a ese terreno, en temas de calidad y ambiente, en temas de los escenarios de trabajo, entonces yo ligué esas dos cosas ahí, y pues así lo tengo hasta el momento, lo tengo que evaluar...” (P2.P14).

Lo anterior nos permite notar además que el módulo de proyectos, del que habla el profesor, tiene una fuerte incidencia en la planeación y secuenciación de los contenidos de enseñanza.

Adicionalmente, podemos ver, que en sus respuestas a las preguntas 9 y 11 Tomás hace referencia al desarrollo de habilidades comunicativas, como el saber leer, escribir y argumentar, como habilidades que necesita enseñar, en aras de que los estudiantes mejoren su comunicación científica, como podemos ver a continuación:

*“pero hay otros aprendizajes que se han logrado a través de la Biotecnología, como el tema de emprendimiento, como el tema del trabajo colaborativo, como el tema de formular proyectos y desarrollar esas competencias comunicativas, eso es muy importante, que el estudiante se enfrente ante un conocimiento y ante la crítica, y hay espacios donde ellos han tenido que hacerlo,*

como las Expociencias en Corferias, como los eventos que hacemos en otras universidades o en la misma institución, donde hay personas ajenas a esa enseñanza que preguntan, entonces la idea es bueno, si te preguntan esto ¿qué?, ¿cómo vas a responder?, o yo les digo al comienzo, si en la casa ustedes comentan que están estudiando Biotecnología y la primera pregunta es ¿qué es eso?, ¿ustedes qué responden?, cómo explicarle a su mamá, su papá, a su esposo, a su esposa ¿qué es la Biotecnología? (P2.P9).

Con lo que, podemos notar que para el profesor Tomás el desarrollo de habilidades comunicativas constituye un contenido, que, al ser transversal, también hace parte del proceso de enseñanza – aprendizaje de la Biotecnología.

- **Contenidos actitudinales**

Cabe señalar que, durante sus respuestas, Tomás hace referencia explícita a la enseñanza de contenidos actitudinales, tal y como podemos notar en el siguiente fragmento de su respuesta a la pregunta 2:

“[...] y obviamente el tema de actitudes porque es que la Biotecnología no es solamente el conocimiento sino unas actitudes también, porque yo también estoy formando actitudes a los estudiantes, el respetar las ideas de los demás, el poder construir colectivamente [...] Que tengan unas actitudes frente alguna aplicación concreta, entonces lo que yo mencionaba al comienzo, bueno y ¿eso qué?, ¿es bueno?, ¿es malo?, ¿por qué?, y ¿cuál es tu posición al respecto? Eso me parece que es válido” (P2.P2).

En el que señala claramente que busca enseñar a los estudiantes a respetar las ideas de los demás y a generar actitudes frente a aplicaciones concretas de la Biotecnología, entre ellas, el análisis de sus ventajas y desventajas, y su posición al respecto, las cuales, asociamos con una perspectiva sociocrítica de la Biotecnología.

En ese orden de ideas, en su respuesta a la pregunta 10, el profesor señala, además, que dentro de los contenidos que evalúa se encuentran las actitudes frente al conocimiento biotecnológico y el posicionamiento crítico frente a ciertas aplicaciones biotecnológicas.

De manera particular, cabe resaltar, que en su respuesta a la pregunta 14, reitera, dentro de los contenidos que ha propuesto enseñar, contenidos actitudinales como la actitud frente al conocimiento y a situaciones de la vida cotidiana que implican la Biotecnología, como podemos ver a continuación:



*“[...] Yo dije, no, ustedes no van a salir biotecnólogos, ustedes se llevan una certificación que hicieron un énfasis en Biotecnología con una intensidad de tanto, pero lo más importante es que ustedes ya cambien su forma de pensar las Ciencias y la actitud que tengan frente al conocimiento, ya por ejemplo cuando ustedes van a hacer mercado ya ustedes dicen, ahí muestre a ver, este yogurt es probiótico, ya comprenden, por ejemplo, qué es un yogurt probiótico, cosas así por el estilo” (P2.P14).*

Pero, además, en esta respuesta, y en la descripción que hace de la propuesta curricular de enseñanza de la Biotecnología que ha planteado, menciona contenidos actitudinales, asociados particularmente al eje de emprendimiento, y al pensamiento innovador que incorpora a la propuesta en mención:

*“yo creo que ahí tengo que hacer algo y tiene que ser transversal en los 4 módulos... el tema del emprendimiento y lo entendí el emprendimiento no como hacer empresa, no, es la actitud emprendedora, que también involucra el tema del pensamiento innovador, por eso yo metí ahorita, una ingeniera, está trabajando la parte de innovación, el pensamiento innovador”* (P2.P14).

Con lo que da cuenta, de manera explícita, de una enseñanza de la Biotecnología abordada desde su carácter productivo, y desde allí, de la incorporación de contenidos asociados al emprendimiento, entre ellos, las actitudes emprendedoras, como él mismo menciona.

Así, a partir de la sistematización de las respuestas del profesor Tomás, y de nuestra interpretación, podemos notar que desde sus declaraciones Tomás dice enseñar contenidos tópicos específicos, la mayoría de ellos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, en relación tanto con aspectos epistemológicos, como históricos y sociológicos, pero también, contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, cuyo abordaje es esencialmente sociocrítico, reiterando en todo momento, elementos que nos permiten establecer en Tomás una postura tecnocientífica de la Biotecnología que se extiende a su enseñanza, en la medida que los contenidos que declara enseñar están orientados al análisis crítico de las implicaciones para la sociedad de los procedimientos, la producción y los productos biotecnológicos y la consecuente toma de decisiones al respecto, así como a una complejización ideológica y epistemológica de la Biotecnología a través de la problematización de su historia y desarrollo teniendo en cuenta la lógica interdisciplinaria de la Biotecnología.

De lo anterior deriva, como podemos observar en la figura 21, que prácticamente todas las relaciones que establece el componente contenidos de enseñanza (a excepción de la relación Evaluación a Contenidos, que discutiremos en el apartado de conocimiento sobre la evaluación)

tengan una complejidad promedio de referencia, asociada, como ya sabemos a una perspectiva sociocrítica de la producción biotecnológica.

#### **4.3.3.4.2 Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza**

Respecto a las estrategias que Tomás menciona durante la entrevista semiestructurada, consideramos necesario recordar la propuesta de enseñanza de la Biotecnología que el profesor dice desarrollar en el colegio donde labora y que es de su autoría. Así, de acuerdo con Tomás, en dicha propuesta curricular, la secuencia de contenidos está organizada en cuatro módulos, que en su orden son: Fundamentos de la Biotecnología, Bioprocesos, Técnica *in vitro* y Proyecto integrador.

A medida que Tomás nos va contando acerca de los contenidos que aborda en cada uno de los módulos, también nos cuenta acerca de las estrategias de enseñanza que utiliza, las cuales desarrollaremos a continuación, teniendo en cuenta también las respuestas de las demás preguntas en las que se refirió a sus estrategias de enseñanza.

- ***Proyecto integrador***

Durante su relato, Tomás señala que en el módulo denominado Proyecto integrador, los estudiantes desarrollan y sustentan un proyecto en el que trabajan sobre una aplicación de la Biotecnología, expresando que el desarrollo de dicho proyecto corresponde al trabajo final del énfasis.

De acuerdo con lo anterior, Tomás manifiesta que la realización del proyecto involucra la consulta por parte de los estudiantes, el acompañamiento del docente, la entrega de avances y, unas asesorías, en las que el profesor, una vez ha revisado los documentos enviados por los estudiantes, los devuelve y retroalimenta, poniendo especial atención al proceso, el cual una vez es avalado, puede pasar a la fase de elaboración, en la que los estudiantes diseñan la maqueta, para finalmente sustentar su proyecto.

Como ya habíamos mencionado, el profesor cuenta también que se encarga de realizar una actividad práctica para todos, por ejemplo, sobre biocombustibles, y que los estudiantes deben presentar o dejar planteado el procedimiento para obtener el producto asociado a su proyecto, con lo cual comprenden los procedimientos implicados en dicha producción.

Respecto a los proyectos que desarrollan los estudiantes, Tomás también señala en su respuesta a la séptima pregunta que, él se enfoca en el trabajo colaborativo, y de ahí, en el trabajo por proyectos, haciendo referencia, a un gran proyecto, el planteamiento de una biorrefinería. Tomás

expresa así que, desde la biorrefinería ha podido encadenar varias aplicaciones de la Biotecnología, o la obtención de diferentes bioproductos a partir de la transformación de biomasa; mencionando unas líneas de trabajo, en las que los estudiantes desarrollan su proyecto escolar, entre ellas la producción de biocombustibles, bioabonos, biofertilizantes y extracción de aceites vegetales, como podemos ver a continuación:

*“Bueno, hay varios [proyectos escolares], digamos que uno tiene que ver con el trabajo que estamos empoderando desde hace unos años que es el tema de los residuos orgánicos, digamos que yo he visto en ese trabajo, la posibilidad de poder encadenar varias aplicaciones de la Biotecnología, desde el concepto de biorrefinería, si bien es cierto, ellos no van a construir una biorrefinería, ni nosotros tenemos en el colegio una biorrefinería, pero sí a través de comprender de una manera sistémica, cómo puedo a partir de una biomasa, generar diferentes bioproductos, me ha funcionado. Entonces cada grupo, cada equipo tiene un proyecto, una línea dentro de ese gran proyecto, entonces unos se dedican a profundizar más en biocombustibles y hay el equipo de biocombustibles, otros en la línea por ejemplo de abonos y eligen a través de qué técnica van a desarrollar el bioabono sea compostaje o bocashi y la otra línea que es biofertilizantes y extracción de aceites vegetales y esas son las líneas que hemos venido trabajando y me da buen resultado porque los estudiantes, sobretodo en ciclo 6 cuando ya llegan a un proyecto integrador, ahí es donde ellos ponen todo el conocimiento que han visto y más lo que ellos por su cuenta han logrado consultar, poder sustentar esos proyectos” (P2.P7).*

Como ya hemos señalado, en varias de sus respuestas, Tomás declara apoyarse en ingenieros o estudiantes de ingeniería para la realización de cursos y talleres sobre BPM y BPA, adicionalmente Tomás manifiesta, en su respuesta a la pregunta 8, que, con ayuda de estudiantes de último semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica, sus estudiantes han comprendido el concepto de proceso industrial o proceso productivo, involucrado en el proyecto que deben plantear, y que además han abordado la representación de dichos procesos a través de la elaboración de maquetas (estrategia que nosotros asociamos a la modelización y que desarrollaremos más adelante), una ayuda didáctica que les permite comprender un proceso productivo y representarlo, como podemos ver a continuación:

*“[...] y obviamente pues pasamos a la parte experimental, pero también pasamos a la parte de representación del conocimiento a través de maquetas, entonces la maqueta es una ayuda didáctica que contribuye a fijar un pensamiento en éste caso un proceso productivo de manera sistemática, de manera digámoslo así, didáctica, que les permita a ellos comprender un proceso, representarlo y ellos lo sustentan a través de la maqueta” (P2.P8).*

- **Prácticas de laboratorio**

Además de las prácticas de laboratorio relacionadas con los proyectos planteados por los estudiantes, que el profesor dice realizar, Tomás también señala que el módulo de Técnicas *in vitro*, surge de las condiciones del laboratorio del colegio, el cual se encuentra adaptado para el trabajo de cultivos *in vitro*, lo cual conlleva a que él no realice prácticas diferentes en dicho laboratorio.

En su respuesta a la tercera pregunta, también se refiere a las prácticas de laboratorio que realiza en el laboratorio del colegio, señalando nuevamente, que realiza prácticas relacionadas con cultivos *in vitro*, pero que también realiza prácticas de microscopía y algunas extracciones, como podemos ver a continuación.

*[...] no todas las prácticas las puedo desarrollar, no todo lo que quisiera lo puedo desarrollar en el laboratorio, por las mismas limitaciones que hay. In vitro lo puedo hacer de manera didáctica, porque contamos con cámara de flujo laminar, autoclave, contamos con un espacio para desarrollar cultivos in vitro sin problema; a nivel celular, esta microscopía y hacer algunas extracciones no con los grandes equipos, de todas maneras, se pueden hacer (P2.P3).*

En su respuesta Tomás hace referencia a las limitaciones que encuentra para la ejecución de prácticas de laboratorio, entre ellas, la más relevante, que el laboratorio está adaptado para la realización cultivos *in vitro*, por lo que, con otras prácticas se pueden contaminar los cultivos.

- **Visitas a instituciones relacionadas con la Biotecnología**

Frente a las limitaciones para la realización de prácticas de laboratorio que Tomás encuentra en el colegio, plantea estrategias alternativas, así, en su respuesta a la pregunta 3, dice desarrollar visitas a instituciones relacionadas con la Biotecnología, como Corpoica, Sena Mosquera, Instituto Nacional de Biotecnología, entre otras, donde los estudiantes pueden observar y realizar prácticas en laboratorios reales, en las que aborden contenidos de la Biotecnología. Cabe señalar que, en esta respuesta, Tomás insiste en que a través de estas visitas los estudiantes también se pueden aproximar a la investigación biotecnológica, a la producción de conocimiento biotecnológico, así como a los sectores de investigación y de aplicación de tales investigaciones:

*“Entonces cuando yo vi que había limitantes [...] adicionalmente yo cree alianzas institucionales con el énfasis con un doble propósito, uno de hacer prácticas en laboratorios reales, donde se trabaje la Biotecnología, dos que haya interacción del estudiante con esos ambientes de investigación y de trabajo, que me parece supremamente importante porque ahí están visualizando que el conocimiento no se queda en el aula, trasciende y que tiene unas implicaciones*

sociales, económicas, de todo tipo, entonces el Corpoica, Sena Mosquera, llevarlos al Instituto Nacional de Biotecnología, han sido espacios, primero para llevar al estudiante a hacer unas prácticas y dos ver cómo trabaja un científico con los temas de Biotecnología y qué produce. Cuando allá dicen que están conservando el genoma de éstas plantas en vía de extinción y que están trabajando para que el país no pierda esa historia digamos de la flora, hay un interés ahí interesante, que es importante que conozcan los estudiantes, por eso yo digo que cuando hablo de un laboratorio de Biotecnología no es sólo del espacio que está en el colegio, son otros espacios que hay la posibilidad de que ellos hagan prácticas, conozcan también que hacen los investigadores y que ese conocimiento que están viendo en el aula, sí tiene un sentido, una aplicación en la vida real” (P2.P3).

Esta estrategia es reiterada por Tomás en su respuesta a la pregunta 7, en la que, señala que las visitas interinstitucionales que hace, posibilitan que los estudiantes dimensionen lo que significa investigar en Biotecnología, asociar las aplicaciones biotecnológicas con los sectores de investigación, así como confrontar y ubicar los contenidos abordados en el aula en el contexto de la aplicación, perspectiva que, desde nuestra interpretación, coincide con una postura sociocrítica de la Biotecnología y su enseñanza.

Adicionalmente, en su respuesta a la pregunta 9, Tomás hace mención a la participación en Expociencia (una feria en la que niños, niñas y jóvenes presentan los resultados de sus investigaciones académicas) y otros eventos, tanto dentro como fuera del colegio, como parte de sus estrategias de enseñanza.

De acuerdo con el profesor, la participación en estas ferias de ciencias, conlleva al apoderamiento de ciertos contenidos como la definición de Biotecnología y al desarrollo de habilidades comunicativas.

- **Modelización**

Durante sus respuestas, Tomás da cuenta del uso de la estrategia de la modelización, en cuanto a buscar que los estudiantes representen su conocimiento a través de maquetas, como ya hemos mencionado, dibujos o modelos aceptados por la comunidad científica. En este sentido, durante su respuesta a la pregunta 4, el profesor señala:

“Yo hice un ejercicio que para ellos ¿qué significaba Biotecnología? Que lo representaran a través de un esquema y después lo pegamos en el tablero, era para mirar ellos qué relación tenían, qué relacionaban ellos con Biotecnología, con qué se relacionaba, entonces ADN, aparece ADN, aparece un laboratorio donde se manejan una serie de instrumentos, de elementos de laboratorio

y también había otras, como plantas con determinadas características y el tema de la clonación. A ellos les despierta mucha inquietud ese tema...” (P2.P4).

Con lo que el profesor busca que a través de esquemas los estudiantes representen lo que para ellos significa la Biotecnología, notando la inclusión en tales esquemas de varios conceptos asociados, entre ellos ADN, laboratorio y clonación. En este orden de ideas, durante su respuesta a la pregunta 5, Tomás también hace referencia a la solicitud de representaciones gráficas, con las cuales busca que los estudiantes expliciten sus ideas previas respecto a distintos contenidos de enseñanza como la reproducción celular o la evolución.

Así, respecto a la modelización como estrategia de enseñanza del profesor Tomás, cabe señalar, que durante la pregunta 7, que indaga precisamente por las estrategias de enseñanza de la Biotecnología, quisimos conocer más al respecto, por lo que el profesor nos contestó:

*“¿Por qué la modelización la incorporo yo en la enseñanza de la Biotecnología? Digamos, eso no es de ahora, sino que yo como profesor de Biología, cuando inicié como profesor de Biología, yo incorporaba mucho el tema de la modelización, cuando trabajaba por ejemplo átomo o célula, el mismo ADN, porque considero que a partir de éstos modelos no sólo puedo capturar la representación o los imaginarios que tienen los estudiantes frente a un concepto determinado, sino también ellos como se pueden atrever a crear algo distinto, porque el objetivo no es cogerlo como está en el libro o como está en internet, sino, para ellos ¿qué significa un átomo?, o en éste caso el ADN y por qué lo quiere representar así, ¿no habrá otras formas de representarlo?, ¿no se podrá representar de otras maneras? Entonces ahí es cuando yo les digo creatividad, imaginación y después miramos sí o no es posible en la naturaleza que se pueda encontrar un ADN de esa manera y que utilicen obviamente material reciclable, entonces que ellos mismo creen esos modelos [...] Pero con base también en los conocimientos que hemos visto en clase, pero la libertad está en construyan el modelo, como ustedes se imaginan que es el modelo, sabiendo que tiene azúcares, bases nitrogenadas, como entonces usted coloca todos esos componentes dentro de un modelo [...] Entonces, ellos lo que hacen es organizar esos conocimientos a través de unas estructuras que ellos pueden hacer, haciéndolo así como se dice en espiral, pero también hay unos ADN que ellos hacen, como un eje, colocan un eje y colocan unos palos, entonces la pregunta es ¿por qué uno es diferente del otro? Entonces como ponerlos en ese contexto ¿por qué lo hizo de esa manera? Primero una pregunta ¿cómo lo hizo?, ¿por qué lo concibió de esa manera? Para ver que hay allá en su cabeza, esos imaginarios de ADN” (P2.P7).*

Con lo que Tomás claramente reitera, que al utilizar la estrategia de modelización puede acceder fácilmente a las representaciones o imaginarios de los estudiantes respecto a estructuras como

la célula, el átomo o la molécula de ADN, y a partir de dichos modelos, entender las concepciones de los estudiantes al respecto.

- **Otras estrategias**

Durante sus respuestas, Tomás también hace referencia al uso de otras estrategias como el uso de videos relacionados con la Biotecnología, lectura de textos de divulgación científica y el trabajo interdisciplinar con el profesor de Sociales.

En el primer caso, a través de su respuesta a la primera pregunta el profesor menciona de manera particular el video *La granja de Frankenstein*, con el cual aborda algunas aplicaciones de la Biotecnología, como la obtención de animales transgénicos, llevando a los estudiantes a cuestionarse acerca de los beneficios o perjuicios de tales aplicaciones.

Adicionalmente, y en su respuesta a la pregunta 7, Tomás dice también utilizar este video para visualizar algunas aplicaciones biotecnológicas, pero también para mostrar las distintas posiciones que existen al respecto, buscando que los estudiantes las analicen y establezcan una opinión propia, lo cual conllevaría al desarrollo de un pensamiento crítico, necesario en la comprensión de la Biotecnología, con lo que Tomás da cuenta de su perspectiva sociocrítica de la Biotecnología como podemos notar a continuación:

*“[...] después ya viene ese video que te comento, crea mucho impacto, ese video genera mucho impacto, pero también, como el mismo video lo establece, digamos que ellos tengan en cuenta las dos posiciones, la posición de la persona investigadora, que está fascinada con todas estas aplicaciones que se hacen, pero por el otro lado, está la persona que ve que es una forma de agredir a la naturaleza, que no hay como mirar lo orgánico, mirar el curso de la naturaleza normal. Entonces son dos posiciones y yo siempre les digo que tengan en cuenta los comentarios que hace cada una de éstas personas, para posteriormente ellos plasmarlas en una matriz, las explicaciones, en qué consistió el cambio genético que hubo allí y cuál es la posición de ellos, qué piensan al respecto, porque ahí es donde yo empiezo a explorar un poquito, ellos qué opinión tienen de todo eso, y además que ese ejercicio posibilita desarrollar el pensamiento crítico, que es supremamente importante en éstos temas de Biotecnología” (P2.P7).*

Durante su respuesta a la primera pregunta, Tomás también menciona la lectura de textos de divulgación científica, especialmente artículos de la *Revista innovación y ciencia*; con los que ha abordado los cultivos *in vitro* como aplicación biotecnológica, y ha propiciado la discusión acerca de los aportes de ésta técnica y las razones por la que se emplea en distintos países del mundo, con lo que llega al tema de los monopolios, y a los intereses económicos implicados en la Biotecnología.

A este respecto, y como ya habíamos mencionado, el profesor manifiesta que lleva a cabo un trabajo interdisciplinar con el profesor de sociales, a quién le pide que en sus clases desarrolle ciertos temas como el de los monopolios, abordando así el tema de las semillas y su monopolización a través de la venta y siembra de semillas certificadas por la multinacional Monsanto, incluidos los intereses políticos allí inmersos.

Vale la pena señalar que la anterior es una propuesta de articulación curricular que surge como iniciativa del profesor Tomás, que no está formalizada en la institución, pero que parece tener resultados positivos en términos del aprendizaje de los estudiantes en cuanto a las controversias que se desprenden de las aplicaciones biotecnológicas.

Finalmente, cabe mencionar, que el profesor también hace referencia al uso de la cartilla para la enseñanza de la Biotecnología editada por el IBUN, así, según su respuesta a las preguntas 6 y 7, este es un recurso que le posibilita indagar por las ideas previas de los estudiantes acerca de los contenidos presentados, y finalmente evaluar los aprendizajes.

De lo anterior, interpretamos que el conocimiento sobre las estrategias de enseñanza de Tomás se constituye en un componente de su CDC declarativo que integra y articula los demás componentes de este CDC (Figura 20). De esta manera, vemos que Tomás expresa utilizar una amplia variedad de estrategias de enseñanza, dando cuenta de diversas estrategias, que emplea, no solo para abordar los contenidos de enseñanza, sino también para; acceder al conocimiento de sus estudiantes e incorporarlo a los procesos de enseñanza; establecer propósitos de enseñanza y; traer el contexto de la Biotecnología a las clases, relaciones que en todos los casos son de complejidad de referencia, debido principalmente a que, desde nuestra interpretación, a través de las estrategias empleadas, Tomás logra abordar situaciones relacionadas con la naturaleza de la Biotecnología que son de interés para los estudiantes, así como, explicitar relaciones entre la Biotecnología y otros sistemas de la sociedad, incorporando al mismo tiempo el contexto de la Biotecnología y la cotidianidad de los estudiantes, en la búsqueda de un posicionamiento crítico respecto a las aplicaciones biotecnológicas.

#### **4.3.3.4.3 Conocimiento sobre los estudiantes**

En su respuesta a la primera pregunta Tomás manifiesta la importancia que para él tiene el hecho de partir de los saberes de sus estudiantes, a quienes se refiere como jóvenes y adultos, saberes que dice, son riquísimos y a veces desconocidos para él, pero que se pueden relacionar con la Biotecnología, como podemos ver, en el siguiente fragmento de su respuesta a la primera pregunta:

*“Y todas esas cositas que yo he ido como... me llevaron a pensar que realmente no era la forma de llevar al estudiante joven y adulto y que si partimos de esos saberes que ellos manejan son*



riquísimos y lo digo porque yo ya tenía una experiencia pasada de trabajar con comunidades y encontré que un buen porcentaje de estudiantes ha pasado por Abastos y tienen unos conocimientos interesantísimos que yo desconozco porque nunca estuve allá, pero en temas concretos ellos tienen una experiencia muy rica, otros que trabajan en verduras, hay recicladores, personas que barren las calles, que interesante, porque si yo empiezo a indagar sobre esos saberes que ellos tienen podemos relacionar la Biotecnología. Por ejemplo, el tema de residuos sólidos, no ha sido un capricho mío, es que los manipulamos a diario, pero desconocemos qué podemos hacer con esos residuos, además de hacer manillas, hacer aretes, ¿qué otras cosas podemos hacer?, entonces yo les digo miren muchachos ¿sabían que se puede hacer un betún a partir de las cáscaras de banana?, hagámoslo, eso me ha servido mucho, es indagar un poquito, cuáles son esos saberes que tienen los estudiantes” (P2.P1).

De otra parte, en su respuesta a la pregunta 3, es evidente que las estrategias de enseñanza que Tomás plantea surgen también de su interés por los estudiantes, así, Tomás se refiere a las visitas a centros de investigación, cuya intención, desde lo que expresa, radica en que los estudiantes hagan prácticas y conozcan qué hacen los investigadores y que ese conocimiento que ven en el aula tiene aplicaciones en vida real.

Adicionalmente, en la respuesta a la pregunta 4, Tomás hace referencia a los conceptos previos de sus estudiantes acerca de la Biotecnología, en este sentido, menciona que sus estudiantes no conocen el significado del término Biotecnología, por lo que busca el enriquecimiento del conocimiento de los estudiantes al respecto a través de estrategias como las prácticas de laboratorio y visitas a instituciones relacionadas con la Biotecnología, en las que pueden visualizar aplicaciones de la Biotecnología:

“Bueno, lo primero era lo que yo les comentaba, que el hecho de que yo les pronuncié el término Biotecnología ya de por sí crea una barrera, porque la primera pregunta es ¿qué es eso?, entonces cuando no hay claridad sobre qué es y yo les estoy hablando sobre Biotecnología, pues ahí encontramos la primera barrera, pero cuando buscamos a partir de hechos concretos, como las aplicaciones de Biotecnología y las podemos visualizar, evidenciar en el laboratorio, en las salidas, entonces ya ellos empiezan a relacionar. Cuando hablo de los conocimientos previos o creencias, lo primero que piensan, cuando hablamos de Biotecnología, es en la clonación, y dicen “profe ¿cierto que se puede clonar un ser humano?” Entonces el tema de la clonación, resalta mucho sin haber leído...” (P2.P4).

Con lo que, desde nuestra interpretación, Tomás indaga las concepciones previas de los estudiantes, las tiene en cuenta y, por tanto, orienta su trabajo hacia la complejización de dichos conocimientos.

Así, como podemos notar, en su respuesta a la pregunta 4, que indaga precisamente por los conocimientos previos y/o creencias de los estudiantes sobre Biotecnología, Tomás señala que emplea estrategias como la modelización, que le permiten identificar los conocimientos previos de los estudiantes, señalando que, dentro de dichos conocimientos, aparecen concepciones sobre la clonación, el ADN, el trabajo en el laboratorio, plantas con diferentes características. Señalando además en su respuesta que los estudiantes establecen relaciones entre la raíz bio y los seres vivos, pero no, entre los seres vivos y la tecnología.

En este sentido, en su respuesta a las preguntas 7 y 8, también podemos notar que Tomás hace uso de diferentes estrategias como la cartilla del IBUN y la modelización para indagar las ideas previas de los estudiantes, así, por ejemplo, el profesor manifiesta abordar la unidad número uno de la cartilla de Biotecnología como estrategia para indagar conocimientos previos de los estudiantes acerca de la Biotecnología, los cuales, dice, tiene en cuenta luego en su proceso de clase, para finalmente llegar a la evaluación, que también realiza con apoyo de la cartilla:

*“de hecho al manejar yo un recurso, ha sido la cartilla de la Nacional, y algo que me gusta ahí, es que antes de tocar un tema, primero hacen unas preguntas, tratando de ver si ellos tienen algún tipo de respuesta o una interpretación a lo que se pregunta allí, entonces eso permite como ver si pregunta por ejemplo sobre Biotecnología ¿usted qué sabe de Biotecnología? ¿O nada, o con qué lo relaciona, de dónde parte? Pero después de que se desarrolla esa unidad, hacen unas actividades y luego hay una autoevaluación y la autoevaluación es sobre los aprendizajes, entonces ¿cree que ya sabe qué es Biotecnología? ¿Comprende por qué la Biotecnología es interdisciplinar? Pues obviamente es un recurso porque yo no me quedo sólo con la cartilla, pero sí tengo en cuenta ese punto de partida que es lo que ellos creen, sus experiencias de vida y después hacemos todo un proceso de clase, de desarrollo de todos esos contenidos, las prácticas, las estrategias y luego llegamos a un punto de la evaluación” (P2.P7).*

En cuanto a la modelización Tomás enuncia que realiza preguntas a los estudiantes, relacionadas con los modelos de ADN elaborados por ellos, con las que busca indagar los imaginarios de los estudiantes sobre la naturaleza del ADN.

De otra parte, en su respuesta a la pregunta 5 el profesor manifiesta que uno de sus propósitos consiste en abordar conceptos de la Biotecnología, a través de la complejización de conocimientos cotidianos de los estudiantes por medio de estrategias como la realización de prácticas de laboratorio sobre fermentación:

*“Pues mostrarles realmente desde la Biotecnología cómo se puede trabajar ese concepto pero aplicándolo desde las cosas que ellos pueden hacer evidentes o tangibles, entonces por decir algo,*

si estamos hablando del tema de la fermentación o del kumis, en la práctica estamos haciendo un kumis, utilizando una cepa bacteriana que nos permite obtener ese kumis con esas características pero que ellos identifiquen que realmente son las bacterias las que realizan ese proceso fermentativo, y no es que le colocaron un ácido, para que quede así agrio, sino que son unas bacterias las que están desarrollando su metabolismo, entonces como llevándolos a ese terreno y después volviéndoles a preguntar sobre el tema, después de esa práctica, entonces “¿entonces usted qué cree que es la fermentación?” (P2.P5).

Tomás señala la importancia de estas estrategias en cuanto hacer tangibles las definiciones y conceptos asociados a la Biotecnología, lo que señala es una acción difícil para los estudiantes ya que desde su experiencia se ha dado cuenta que “hay una serie de conocimientos que los estudiantes no han digerido y por lo tanto no pueden dar cuenta de ellos y si llegan a hablar de ese conocimiento está muy atravesado por el dogmatismo total, entonces [...] a pesar de que pueden hablar de ADN para ellos no es nada concreto, es algo que existe porque se los contaron así los profesores y con los libros han visto que está, pero ellos no pueden como volverlo tangible y por tanto no es fácil de que quede en ellos” (P2.P5).

En esta misma respuesta Tomás señala además que las creencias - posturas de los estudiantes se mantienen y no son fáciles de desacomodar, lo que en parte se debe a que en la enseñanza de las ciencias los profesores están preocupados más por la repetición de definiciones y no por permear los esquemas, estructura y pensamiento de los estudiantes.

En el marco del reconocimiento que Tomás hace del conocimiento de sus estudiantes, en su respuesta a la pregunta 6, el profesor nos cuenta como sus estudiantes incorporaron su conocimiento acerca de los abonos en la realización de los proyectos finales, haciendo una reflexión metacognitiva, que lo lleva a reconocer y valorar las experiencias de los estudiantes y a incorporarlas en sus procesos de enseñanza.

“Yo tuve una pareja de unas personas mayores de 65 años, campesinos, que vivían en Usme y trabajaban en Abastos, imagínate, trabajaban en Abastos, se iban a estudiar al colegio y de ahí a Usme, y yo aprendí de ellos que uno desconoce muchas cosas. El señor siempre me decía profe, usted está hablando de abonos, resulta que yo trabajé en el campo y yo conozco de abonos, empíricamente él cultivaba y preparaba los abonos y yo pensé que era una vivencia que tuvo, y ya, y él seguía insistiendo y cuando les puse proyectos él eligió trabajar sobre bioabonos y hacer una maqueta sobre bioabonos para mostrar el proceso y me di cuenta que él sí sabía, el que no sabía era yo, él sabía desde el punto de vista práctico porque le agregaba determinados componentes, y cómo formaba eso y que él veía que efectivamente germinaba esa semilla, que efectivamente el cultivo se quedaba con éstas características, etc. Y ahí fue donde yo dije, mira

como no hay que desechar nada, esa experiencia que ellos tienen es valiosísima, lo que hay es que coger ahora y darle la vuelta, desde el punto de vista de que esa práctica, que es muy funcional, mire que tiene que ver con Biotecnología, mire qué conocimientos están allí presentes y que le aportan para que usted pueda explicarlo de esa manera” (P2.P6).

En esta respuesta y de manera adicional, Tomás dice partir del conocimiento de los estudiantes para poder desarrollar las maquetas de los procesos seleccionados en sus proyectos, así, dice acompañarlos a través de preguntas, cuyas respuestas posibiliten tanto la construcción del mapa de proceso como la sistematización del proyecto. De esta manera el profesor también declara acompañar a los estudiantes en el proceso de elaboración de maquetas (modelos) para que sean conscientes de donde partieron y hasta donde han llegado, lo cual constituye un ejercicio metacognitivo que posibilita la complejización de las concepciones de los estudiantes.

Adicionalmente, en el transcurso de esta respuesta, Tomás hace una reflexión en la que reconoce que con el paso de los años ha adquirido mayor conciencia acerca de la importancia de incorporar el conocimiento de los estudiantes en los procesos de enseñanza – aprendizaje de la Biotecnología, reconociendo también que su propósito como profesor de Biotecnología de estudiantes de jornada nocturna no es formar biotecnólogos, como podemos ver a continuación:

*“Yo creo que ha sido también la madurez que como profesor voy teniendo a nivel profesional y disciplinar, el haber participado en cursos relacionados con Biotecnología, eventos, el haber leído, en la universidad, pues uno va relacionando éstos temas y me han permitido como hacer más conciencia de lo que yo tengo en mis manos, de ese conocimiento que tengo en mis manos y que estoy impartiendo a una comunidad con esas características y entonces digo “¿cuál es mi responsabilidad ahí?” yo estoy seguro que ninguno va a ser biotecnólogo, pero yo no estoy formando biotecnólogos, eso sí es claro, entonces yo digo que uno va madurando al hablar de la experiencia” (P2.P6).*

En este sentido, en su respuesta a la pregunta 10 Tomás dice confrontar los contenidos y temas de Biotecnología abordados durante las clases con los conocimientos de los estudiantes originados en sus experiencias e historias de vida. Así, señala que ha establecido relaciones entre el mejoramiento de los recursos agrícolas y el conocimiento cotidiano que tienen los estudiantes que han trabajado en el campo, buscando además que ellos puedan identificar las ventajas de la incorporación de procesos biotecnológicos al trabajo del agro, con lo que, desde nuestra interpretación los contenidos de enseñanza que Tomás aborda, responden al conocimiento que él tiene de los estudiantes, buscando que los puedan relacionar con sus realidades.

Adicionalmente, Tomás señala que los estudiantes se sienten motivados cuando él los implica a través de sus historias de vida, y que lo que a él le interesa es que asuman una posición frente al conocimiento de la Biotecnología.

Respecto al conocimiento y articulación de las historias de vida de los estudiantes en los procesos de enseñanza de la Biotecnología, cabe señalar que en su respuesta a la pregunta 14, Tomás manifiesta que el eje del emprendimiento de su propuesta curricular, en el que aborda contenidos como actitud emprendedora y pensamiento innovador, se origina en el conocimiento que tiene respecto a los proyectos de vida de los estudiantes, en cuanto a que no tienen metas que vayan más allá de terminar el bachillerato y por tanto, seguir estudiando, por lo que desde ese eje busca que se proyecten:

*“[...]Entonces este eje de emprendimiento parte del proyecto de vida, o sea, trabajo sobre el proyecto de vida y desde éste aterrizamos esos sueños, esas metas, pues ¿a qué llega uno? Que no tienen metas realmente, no se visualizan, no se proyectan, están en sus trabajos y ellos creen que ahí van a permanecer. Su meta más inmediata, si se puede llamar así, es terminar el bachillerato, como parte de su proyecto de vida, es algo muy significativo, así como para algunos es su único objetivo porque no tiene nada más que hacer porque no ve que pueda seguir estudiando, para otros sí significa que quieren seguir estudiando. ¿Por qué trabajamos lo de las metas? Porque yo necesito ver cuáles son esas contribuciones de los estudiantes y de las ciencias que podemos ofrecerles también, para que se proyecten también”* (P2.P14).

En esta respuesta Tomás también manifiesta que, al emplear diferentes estrategias, como las visitas a distintas instituciones y la incorporación de estudiantes de ingeniería, ha impactado en la vida de los estudiantes, por ejemplo, a través de la generación de ideas de negocio, lo cual, según el profesor, en algunos casos conlleva a fuentes de ingresos adicionales para los estudiantes, reconociendo así, las necesidades económicas y la realidad social de la población con la que trabaja, con lo que reiteramos que, desde lo que declara Tomás, las estrategias que plantea, derivan del conocimiento que tiene de sus estudiantes.

*“Entonces el tema de emprendimiento ha arrojado en algunos casos, ideas de negocio, yo arranqué en los primeros dos años con ¿cómo desde éste concepto biotecnológico yo puedo generar ideas de negocio?, o sea ya me fui al otro lado, o sea, hagámoslo productivo ese conocimiento, entonces empezaron con el tema de lácteos, a montar ideas de negocio sobre lácteos, entonces conocí ingenieros que dijeron, bueno, vamos a trabajar el método Canvas, para generar ideas de negocio y a partir de allí entonces ellos iban a decir ¿ese yogurt qué tiene de distinto a otro que hay en el mercado?, ¿cuál es el elemento diferenciador?, ¿y cómo lo va a hacer?, Porque él tiene que hacer el yogurt, no va a comprarle a otro para vender, no, va a hacer yogures ¿cómo lo harían?, entonces, profe, ¿yo puedo hacer un yogurt de uchuva, de otra cosa?, ¿qué se necesita para eso? Entonces, eso me gustó porque en la muestra de emprendimiento ellos*

*llevaban el nombre de la empresa, la misión, la visión y el proceso, y cómo hacían el producto y llevaban muestras, porque para ellos esto representa mucho en sus vidas, fuente de ingresos, es dejar de trabajar más de 8 horas para que le paguen \$30.000, entonces ven esas posibilidades” (P2.P14).*

De todo lo anterior podemos notar que desde lo que declara, Tomás hace un amplio uso de su conocimiento sobre los estudiantes, componente que establece relaciones con cuatro de los otros cinco componentes (Contenidos, Estrategias, Propósitos y Evaluación), lo cual, nos permite interpretar que es un componente que juega un papel importante en la articulación del CDC declarativo de Tomás.

Como podemos observar, además, en la tabla 20, todas las relaciones encontradas tienen una complejidad de referencia, dado que Tomás dice reconocer que los estudiantes tienen saberes y conocimientos previos originados en sus experiencias de vida, que se pueden relacionar con la Biotecnología, entre ellos, acerca del manejo de los residuos sólidos, o sobre la agricultura, los cuales, hacen parte de las realidades de sus estudiantes y son un referente continuo del proceso de enseñanza.

En este orden de ideas, vemos que Tomás plantea sus contenidos de enseñanza y sus estrategias, buscando complejizar y enriquecer los saberes de los estudiantes, pero al mismo tiempo impactar en sus proyectos de vida a través, por ejemplo, del eje de emprendimiento de su propuesta curricular, con el que busca que a partir de su conocimiento sobre la Biotecnología, los estudiantes generen ideas de negocio al hacer productivo ese conocimiento y así obtener ingresos económicos; pero también, a través de la toma de decisiones informadas respecto al consumo de productos biotecnológicos y los avances de la Biotecnología.

#### **4.3.3.4.4 Conocimiento sobre los propósitos de enseñanza**

La información de la figura 21 nos deja ver que, en el CDC declarativo de Tomás, el 14,6% del total de las relaciones son establecidas por el componente Propósitos de enseñanza, lo cual conlleva a que éste componente desempeñe un papel importante en la integración de los demás componentes. A continuación, describiremos nuestros principales hallazgos al respecto.

Teniendo en cuenta que la primera pregunta estaba orientada a la indagación de los propósitos de enseñanza del profesor, podemos notar que, en su respuesta a esta pregunta, Tomás menciona varios propósitos, entre ellos uno referido a lo que él denomina alfabetización de los estudiantes y que nosotros asociamos a una alfabetización tecnocientífica. En este sentido menciona que su propósito es acercar a los estudiantes a un conocimiento nuevo (desde nuestra

interpretación conocimiento biotecnológico), incluido el concepto de Biotecnología, desde el punto de vista de la realidad de los estudiantes y de lo que han aprendido durante años anteriores. Durante su respuesta, Tomás reitera que su intención es acercar a los estudiantes a un conocimiento que dialogue con su realidad, en la medida en la que lo relacionen con su vida cotidiana, a través de la identificación del consumo de las aplicaciones biotecnológicas, como los alimentos transgénicos, señalando que la importancia de conocer al respecto radica en la toma de decisiones frente a lo que debemos consumir o no consumir, por ejemplo, lo que explícitamente relaciona con una alfabetización en el tema de la Biotecnología, y desde nuestro punto de vista es coherente con la perspectiva sociocrítica de la Biotecnología que hemos podido evidenciar a través de la sistematización de los otros componentes del CDC declarativo de Tomás.

Otro de los propósitos que plantea el profesor en su respuesta a la primera pregunta se refiere a que los estudiantes hagan una lectura crítica de las aplicaciones de la Biotecnología, señalando, como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase, que cuando habla de lectura crítica, habla de dar significado al conocimiento biotecnológico a través de su interacción en situaciones de la vida cotidiana, analizando cuáles serían los beneficios y los efectos de esas aplicaciones biotecnológicas en sus vidas, propósito que desde nuestra interpretación está ligado al propósito que plantea inicialmente, relacionado con la alfabetización tecnocientífica de los estudiantes.

*“[...] hay otros propósitos allí y es en primer lugar, que ellos puedan hacer una lectura crítica, de los hechos o de las aplicaciones de la Biotecnología, cuando yo hablo de una lectura crítica de los hechos, hablo de aprender qué significan esos conocimientos cuando ya se implementan en la vida cotidiana o en la realidad o cuando ya el ser humano asume ese conocimiento para su bienestar. Entonces para mí es muy importante que ellos le encuentren sentido, significado, pero aplicando ese conocimiento a la vida del ser humano, tomando distancia obviamente para que ellos analicen cuáles serían sus beneficios, sus efectos de todas esas aplicaciones biotecnológicas en sus vidas” (P2.P1).*

Otro propósito planteado por el profesor, y que vemos va en el mismo sentido a los dos propósitos planteados previamente, radica en la comprensión de las aplicaciones biotecnológicas, en este orden de ideas, señala que su interés no es que los estudiantes lleguen a un nivel de profundidad en el conocimiento, sino que tengan unos conocimientos básicos de Biotecnología y que sepan que a partir de esos conocimientos se han generado muchas aplicaciones que son reales, así como a muchas investigaciones que se han hecho y que se están haciendo.

En su primera respuesta Tomás también plantea como propósito de enseñanza la incorporación del conocimiento biotecnológico en los proyectos de vida de los estudiantes, señalando que en este sentido habla de dos retos, uno en términos de procesos de aprendizaje, desde el punto de

vista de conocimiento científico, y dos que los estudiantes hagan uso de ese conocimiento, como podemos notar a continuación:

*“Entonces ese es un reto grande porque yo voy a trabajar con los estudiantes un conocimiento científico y yo tengo que saber cómo abordar ese conocimiento, obviamente yo no voy a abordar todo el conocimiento biotecnológico, voy a abordar unos elementos que considero son importantes para comprender un poco el tema de las aplicaciones biotecnológicas” (P2.P1).*

En cuanto al primer reto, Tomás reitera en su respuesta a la pregunta 8 que uno de sus propósitos es que los estudiantes confronten sus conceptos previos con los conceptos científicos, porque al hablar de Biotecnología deben hablar desde la Biología o la Biología molecular.

De igual manera, en su respuesta a la pregunta 9, Tomás reitera que al trabajar con jóvenes y adultos es consciente de que está trabajando con unos saberes populares y con estudiantes que tienen unas condiciones particulares, por lo que le interesa hacerlos conscientes de la presencia de las aplicaciones de la Biotecnología en situaciones de la cotidianidad, para que desde el conocimiento asociado a la producción biotecnológica, ellos puedan asumir y desarrollar un pensamiento crítico al respecto:

*“Pues como yo estoy trabajando con jóvenes y adultos, yo estoy trabajando desde unos saberes populares y estoy trabajando bajo unas condiciones que ellos están viviendo, para mí es muy importante hacerles ver que en el sector real nosotros estamos conviviendo con la Biotecnología, sin saberlo, sin ser conscientes en tantas cosas que nos rodean y que consumimos y ahí hay aplicaciones de la Biotecnología, entonces me interesa hacerlos conscientes de eso, con el propósito de que ellos también sepan por qué están consumiendo éstos productos, y eso en qué le beneficia a su organismo, pero también para que asuman y desarrollen un pensamiento crítico frente a eso que está aconteciendo, ¿qué implicaciones tienen esas aplicaciones? Entonces desarrollar esa mirada y cuestionar todas éstas cosas, eso me parece que es lo que yo busco con la Biotecnología” (P2.P8).*

El profesor menciona que uno de sus propósitos de enseñar Biotecnología es motivarlos al aprendizaje de la Biotecnología desde las relaciones con su cotidianidad para que puedan asumir una posición crítica frente a ese conocimiento.

Otro de los propósitos que identificamos en la primera respuesta se relaciona con el uso de lenguaje científico, lo que él denomina terminología científica. En este sentido el profesor señala que busca que los estudiantes aprendan un léxico nuevo (qué es eso de gen, genoma, organismos modificados genéticamente), y que para ello aplica unas estrategias para que poco a poco los estudiantes se vayan acercando a esos términos y así, cuando hagan una presentación de un proyecto o están en un evento ellos puedan usar parte de esa terminología:



“[...] entonces aprender un léxico nuevo, por ejemplo, qué es eso de gen, genoma, organismos modificados genéticamente, es ahí donde aplico yo unas estrategias para que poco a poco se vayan acercando a esos términos. ¿Yo qué esperarí? Que mínimamente cuando hacemos la presentación de un proyecto o están en un evento ellos puedan usar parte de esa terminología, pero no más, yo no puedo aspirar a nada más...” (P2.P1).

En este sentido, durante su respuesta a la pregunta 8, Tomás manifiesta que en el año 2018 los estudiantes participaron en la Expociencia, llevando las maquetas de diferentes líneas de producción, con lo que van construyendo un discurso desde la Biotecnología, y según Tomás: “ahí es cuando empiezan a ver que hay unos microorganismos, unas bacterias, ellas por ejemplo hacen una fermentación, ¿sí?, ya empiezan a armar discursos y eso es lo que yo busco” (P2.P8).

En relación con estos propósitos, en su respuesta a la segunda pregunta, Tomás también hace referencia al aprendizaje de conceptos científicos que les permitan comprender los procesos biotecnológicos como la fermentación:

“Bueno, en primer lugar que ellos, conceptualicen algunos temas de Biotecnología, que sepamos que la Biotecnología también, no soy muy partidario que se hable como ciencia, pero sí considero que se manejan contenidos de la Biología, de la Química etc., entonces, me parece importante que ellos aterricen esos conocimientos, entonces si estamos hablando de la fermentación, pues entonces lo que quiero es que ellos aprendan en qué consiste ese proceso de fermentación, cómo desde Química podemos ver una ecuación que nos represente el proceso fermentativo ¿sí?” (P2.P2).

En ese sentido, más adelante en la misma respuesta, Tomás manifiesta que busca que los estudiantes entiendan los procesos involucrados en las aplicaciones biotecnológicas, y que a partir de allí formulen una propuesta de aplicación innovadora. En su discurso subyace también el uso de la estrategia de aprendizaje basado en proyectos y el consecuente propósito de aprender a trabajar en equipo, a escucharse unos a otros y a diferir, pero con argumentos.

Por otro lado, en su respuestas a las preguntas 3 y 7, el profesor también se refiere a los propósitos de sus estrategias de enseñanza, particularmente las visitas a instituciones relacionadas con la Biotecnología, las cuales declara que tienen como propósitos que los estudiantes realicen prácticas e interactúen en laboratorios reales y en ambientes de investigación en Biotecnología, visualizando al mismo tiempo que el conocimiento no se queda en el aula, sino que trasciende y tiene unas implicaciones sociales y económicas, entre otras; propósito que desde nuestra interpretación implica además, confrontar los conocimientos abordados en clase con el contexto, y que también es acorde con una perspectiva socio crítica de la Biotecnología:

*“[...] es decir, no sólo a través de las prácticas de laboratorio sino a través de las visitas interinstitucionales que hacemos, que tienen varios propósitos, uno, que ellos dimensionen lo que significa investigar en Biotecnología, cuáles son esas aplicaciones que en el sector se están dando y porqué y por otro lado, que también confronten, los conocimientos que ellos están viendo en clase y los ubiquen en un contexto, o sea que tienen no sólo un sentido y un significado, sino que tienen una aplicación, que eso es lo más importante...”* (P2.P7).

En sus respuestas a las preguntas 8 y 9, Tomás enuncia como propósito aprovechar el campo de conocimiento de la Biotecnología para explorar nuevas formas de enseñanza de las Ciencias, con las cuales despertar el interés por la ciencia en los estudiantes, cabe señalar que en sus respuestas el profesor manifiesta también que a raíz de un diagnóstico realizado surge como propósito del énfasis en Biotecnología, la enseñanza de un conocimiento científico desde la cotidianidad y las experiencias de los estudiantes, como podemos ver a continuación:

*“[...] desde el punto de vista de la enseñanza de la ciencia, poder dar unos elementos distintos a los que se venía trabajando desde la Biotecnología, es decir, porque ya nosotros habíamos hecho un diagnóstico, y el diagnóstico nos arrojaba que había poco interés por las ciencias naturales. Entonces la idea mía es qué hay de distinto, de innovador, y cómo podemos recrear también un conocimiento científico desde la cotidianidad y desde las experiencias de los estudiantes”* (P2.P9).

Finalmente, cabe señalar que en su respuesta a la pregunta 14 Tomás reflexiona, a través de un ejercicio metacognitivo, acerca del propósito de la enseñanza de la Biotecnología, el cual inicia diciendo:

*“Y yo me aterroricé en eso, porque ese es un proceso que uno hace también de madurez, y uno dice, cómo así que yo dizque Biotecnología y no me están sacando productos biotecnológicos, uy no, esto no es Biotecnología, entonces, ¿yo qué estoy haciendo? Yo me cuestioné al comienzo muchas cosas ¿Qué es lo preocupante aquí, enseñar la Biotecnología por la Biotecnología?, o, ¿es lo que hay detrás de todo esto? Entonces después dije, no, esto es un pretexto, la Biotecnología es un pretexto para lograr desarrollos en los estudiantes”* (P2.P14).

Con lo que, de manera particular señala que la enseñanza de la Biotecnología es un pretexto para lograr desarrollo en los estudiantes, entre ellos el aprendizaje de contenidos actitudinales, como la actitud frente al conocimiento y a situaciones de la vida cotidiana que implican la Biotecnología como el consumo de los yogures probióticos, y el desarrollo de capacidades investigativas, lo cual asociamos a unos contenidos procedimentales relacionados con el desarrollo de habilidades científicas, entre ellas la capacidad de cuestionamiento, el planteamiento de hipótesis, el seguimiento de etapas del método científico. De igual manera, cabe señalar que durante su

reflexión Tomás también hace mención al emprendimiento y al pensamiento innovador como contenidos que pueden afectar positivamente la vida de los estudiantes.

De todo lo dicho hasta el momento, interpretamos entonces, que Tomás plantea de manera general como propósito de la enseñanza de la Biotecnología abordar unos contenidos de enseñanza fundamentados tanto a nivel epistemológico como conceptual, que posibiliten la comprensión de los procesos biotecnológicos y sus consecuentes aplicaciones, buscando al mismo tiempo trascender en dicha comprensión, y llevar a los estudiantes a la identificación de esas aplicaciones en su vida cotidiana y de allí, a la toma de posiciones informadas y argumentadas respecto a los beneficios o perjuicios de su consumo, lo que claramente, es coherente con la alfabetización tecnocientífica a la que se refiere desde el inicio de la entrevista.

Llama la atención que en este abordaje Tomás tenga en cuenta tanto las características de sus estudiantes, como sus conocimientos previos, buscando complejizarlos a través de las relaciones entre el conocimiento biotecnológico y situaciones de la vida cotidiana, pero también a través de las visitas a instituciones relacionadas con la Biotecnología, posibilitando al mismo tiempo el acercamiento de los estudiantes a escenarios inmersos en el contexto de la investigación en Biotecnología en el país.

De lo anterior podemos entender que todas las relaciones que establece el componente Propósitos de enseñanza con los demás componentes, sean de complejidad promedio de referencia, ya que, según lo que evidenciamos, desde sus declaraciones, en Tomás prima una finalidad relacionada con la comprensión global de los procesos biotecnológicos, a partir del entendimiento de contenidos tanto conceptuales como procedimentales, actitudinales y epistemológicos, que conlleve más que a la aceptación de tales desarrollos, a su problematización, a través de la consideración de sus aplicaciones y, sus implicaciones en la sociedad; lo que en últimas deriva en la formación de ciudadanos críticos y situados en su realidad, que comprenden los conocimientos biotecnológicos y pueden analizar las ventajas, limitaciones y riesgos de la Biotecnología y, de esta manera tomar postura frente a situaciones polémicas.

#### **4.3.3.4.5 Conocimiento sobre la evaluación**

En lo que sigue, presentaremos algunos ejemplos que nos permiten visualizar el componente conocimiento sobre la evaluación del CDC declarativo de Tomás.

- **Conocimiento de las dimensiones de la evaluación**

Los contenidos que el profesor dice evaluar son actitudinales en cuanto a posiciones, opiniones y actitudes frente al conocimiento y los procesos biotecnológicos; epistemológicos, respecto a los hitos de la historia de la Biotecnología y; conceptuales, respecto a conceptos científicos y al dominio del tema en las sustentaciones de proyectos y talleres, como podemos ver en el siguiente fragmento de la respuesta a la pregunta 10:

*“Obviamente yo tengo que dar una nota, porque a mí la institución me lo exige que tengo que evaluar de 1 a 5 y bueno, eso se tiene que convertir en un número, pero nunca reitero el tema de la calificación, sino el tema de que si usted estaba aquí y planteó esto frente a éste tema, yo quiero ver posteriormente cuál es esa posición, si ha mejorado su concepción sobre la Biotecnología, si ya interpreta, sí, cuáles son los hitos de la Historia de la Biotecnología y por qué se dieron, es decir, si doy un espacio a que él también vaya madurando esas concepciones que tiene y desde la Biotecnología, es una forma de evaluar”* (P2.P10).

El profesor manifiesta, además, a manera de reflexión, en su respuesta a la pregunta 11, que a través de la evaluación se ha dado cuenta que los contenidos de enseñanza de leer y escribir sobre Biotecnología, les cuesta mucho a sus estudiantes, especialmente en lo que se refiere al manejo de la terminología, lo que lo lleva a reflexionar acerca de las limitaciones de su práctica docente y de las metodologías de enseñanza empleadas al respecto:

*“Sí influye [la evaluación en su práctica docente], porque yo me doy cuenta por ejemplo, que al abordar un concepto, un proceso no fue claro, o tal vez no fue suficiente, no hice lo suficiente para hacerlo entender o que faltó por ejemplo haber reforzado con un laboratorio o faltó, por ejemplo, sobre todo en el tema, a ellos les cuesta mucho el trabajo de escribir, de lo que están pensando poderlo representar a través de un texto, es complejo, porque cuando yo les pongo, por ejemplo, esos ejercicios que uno les coloca, a ver, aquí hay tres términos, gen, proteína, ehh, por ejemplo, la célula y entonces ¿cómo relaciona esos términos?, y escriba, redacte, donde estén incorporados éstos términos, redacte una oraciones, es bien complejo. Entonces yo creo que yo he tenido limitaciones en ese sentido, en que digamos, pues no me puedo detener mucho tiempo porque mis horas son tan cortas, pero en el tema de lectura y escritura ha sido muy complicado, no es fácil ellos acercarse a textos de divulgación científica, a la misma terminología, entonces ahí es donde yo digo, tengo que idearme algo para que no entre de lleno con la terminología, obviamente no, sino un acercamiento que después le vamos diciendo mire, esto se llama de ésta manera, porque se llama de esta manera, pero entonces creo que ahí me ha faltado como mirar unas didácticas que les permitan a ellos como manejar tanto la lectura, la terminología y pues obviamente la escritura”* (P2.P11).

- **Conocimiento de los momentos y la finalidad de la evaluación**

Respecto al conocimiento de las formas de evaluar, en sus respuestas a la pregunta 10, Tomás señala que realiza una evaluación formativa e integral, expresando que hoy en día distingue la evaluación de la calificación y que ha llegado a estos tipos de evaluación a través de los cambios que ha realizado en el transcurso de su práctica como docente, tal y como podemos ver en el siguiente fragmento de la clase:

*“Si, precisamente digamos que uno de los cambios que es parte de mi práctica que he venido modificando es el tema de la evaluación, obviamente, distinguiéndola de la calificación, yo parto de una evaluación que sea formativa, lógica, integral, bueno todos éstos temas que surgen de una evaluación, que miran los procesos, que no importa la equivocación, siempre y cuando nosotros la detectemos y podamos trabajar sobre ella, entonces, esa evaluación de esa manera me ha permitido dar libertad, libertad que ellos también se expresen y libertad de que ellos también digamos planteen sus posiciones, sus opiniones, sin miedo a que si me equivoco, voy a sacar 1.0, no, no, desde ese punto de vista no, entonces, lo que yo abro son espacios de diálogo, espacios de intercambios y obviamente cuando ya hay unos compromisos académicos que ellos tienen que presentar, ya sea un taller, ya sea resolver la unidad de la cartilla de Biotecnología, ahí ya entramos a mirar, a mirar bueno, ¿qué pasó con éste concepto?, ¿qué pasó con esto que te están preguntando?, estás respondiendo lo que no es, entonces desde ese punto de vista ellos tienen que corregir, tienen que volver a presentar sus trabajos” (P2.P10).*

Adicionalmente, en su respuesta hace referencia a una evaluación continua, en la que destina unos momentos para revisar las calificaciones:

*“[...] en ese sentido cuando tú me preguntas que ¿cuándo evalúo? Pues obviamente estamos hablando de una evaluación continua pero que hay unos momentos en los que también uno hace un alto y empieza a revisar los contenidos y las calificaciones”* (P2.P10).

De esta manera, en su respuesta a la pregunta 6, Tomás señala que la evaluación que realiza ocurre a través del análisis de los conocimientos de los estudiantes al inicio del momento de enseñanza, así como de los avances de los estudiantes al final del proceso, lo que asociamos a una evaluación procesual. Así, por ejemplo, el profesor dice acompañar a los estudiantes en el proceso de elaboración de las maquetas que representan el proceso productivo que han decidido abordar en el desarrollo de su proyecto final, expresando que él los acompaña hasta que sean conscientes de dónde partieron y hasta dónde han llegado, lo cual, a su vez, y desde nuestra interpretación, constituye un ejercicio de reflexión metacognitiva que Tomás incorpora a sus procesos de evaluación.

Con lo que, además, expresa realizar diferentes preguntas orientadas a la descripción y la explicación, cuyas respuestas le permiten evaluar el aprendizaje de los estudiantes a través del desarrollo de los proyectos.

En este mismo orden de ideas, en su respuesta a la pregunta 7, Tomás también dice desarrollar procesos de evaluación formativa, en este sentido, menciona que durante la construcción de los modelos sobre la estructura del ADN que realizan los estudiantes, realiza una evaluación en la que, a través de la identificación de manera conjunta de los errores de los estudiantes, ellos se van cuestionando, y al mismo tiempo identificando en donde estuvo su equivocación, como podemos ver en el siguiente fragmento de la respuesta:

*“Pues digamos que el error también ayuda a formar y digamos que ellos tampoco van a hacer locuras porque ya ellos tienen unos antecedentes, unas revisiones que hemos hecho, unas explicaciones, posiblemente, hemos visto videos también, entonces ya ellos parten de una base de conocimientos, que pasan ya de esa teoría que se vio a hacer algo tridimensional, ya a un modelo propiamente dicho, ya es donde uno mira cómo comprendieron la estructura del ADN, y en esa composición uno encuentra de todo, manejo de convenciones por ejemplo, ahora ¿cómo los ubica? Entonces ahí es donde uno encuentra diferentes formas de configuración de esos componentes, pero entonces no queda ahí, yo tengo que estar ahí presente para orientar y decir aquí hubo una equivocación, entonces a partir del modelo, ellos van cuestionando. No es que es el más vistoso es el mejor modelo, es una forma de acercarse al conocimiento” (P2.P7).*

- **Conocimiento de los instrumentos de evaluación**

En sus respuestas Tomás menciona distintas estrategias evaluativas, así, se refiere a las sustentaciones de los proyectos, a la revisión de talleres y a una ficha evaluativa en la que hace participes a los estudiantes de la evaluación de las exposiciones de sus compañeros a través de preguntas, con lo que lleva al aula mecanismos de coevaluación.

En su respuesta a la pregunta 10, el profesor hace también referencia a mecanismos de autoevaluación, como los planteados en la cartilla de Biotecnología del IBUN, a este respecto señala que estos ejercicios, que parten de preguntas referidas a conocimientos previos de los estudiantes, le permiten no solo identificar tales conocimientos, sino también incorporar los conocimientos de los estudiantes en los procesos de enseñanza de la Biotecnología:

*“[...] de hecho al manejar yo un recurso, ha sido la cartilla de la Nacional, y algo que me gusta ahí, es que antes de tocar un tema, primero hacen unas preguntas, tratando de ver si ellos tienen algún tipo de respuesta o una interpretación a lo que se pregunta allí, entonces eso permite como*

*ver si pregunta por ejemplo sobre Biotecnología ¿usted qué sabe de Biotecnología? ¿O nada, o con qué lo relaciona, de dónde parte? Pero después de que se desarrolla esa unidad hacen unas actividades y luego hay una autoevaluación y la autoevaluación es sobre los aprendizajes, entonces ¿cree que ya sabe qué es Biotecnología? ¿Comprende por qué la Biotecnología es interdisciplinar? Pues obviamente es un recurso porque yo no me quedo sólo con la cartilla, pero sí tengo en cuenta que ese punto de partida que es lo que ellos creen, sus experiencias de vida y después hacemos todo un proceso de clase, de desarrollo de todos esos contenidos, las prácticas, las estrategias y luego llegamos a un punto de la evaluación, porque es en la evaluación donde me permite también identificar si hay, hubo un cambio o una modificación a ese conocimiento o no, entonces ahí es donde creo que estoy siendo más consiente” (P2.P10).*

Durante su respuesta el profesor también manifiesta explícitamente que al revisar las actividades está evaluando, pero siempre buscando identificar las dificultades y que los estudiantes se concienticen de las mismas.

De igual manera dice que emplea una rúbrica con la que evalúa la entrega final de los proyectos, la cual le permite tener en cuenta ciertos criterios, como podemos notar a continuación:

*“[...] y evalúo de varias formas, evalúo a través de proyectos, evalúo a través de las sustentaciones que hacen o de los talleres que yo les coloco o cuando por ejemplo estamos en entrega final, entonces yo parto de una rúbrica y la rúbrica me permite mirar aspectos de comunicación, de presentación, de manejo del contenido, y manejo del otro aspecto que tiene que ver con el trabajo en equipo...” (P2.P10).*

En cuanto a los instrumentos de evaluación, cabe señalar que en sus respuestas Tomás también hace mención a la dificultad para implementar la estrategia denominada portafolio, de la cual tuvo que desistir porque al tener tantos estudiantes, le demandaba mucho tiempo y mucho trabajo hacer el seguimiento al aprendizaje de cada uno.

- **Conocimiento de las formas de evaluar**

En cuanto a las formas de evaluar Tomás hace mención a mecanismos de heteroevaluación, coevaluación, autoevaluación y de evaluación externa. De esta manera en su respuesta a la pregunta 10 señala:

*“[...] cuando tú me preguntas que quiénes evalúan, pues ahí tenemos el profesor en primer lugar porque yo soy el responsable de la cátedra, pero también hay agentes externos que contribuyen, que colaboran en ciertos momentos en la evaluación [...] Pues aquí evalúa el profesor, evalúan los*

compañeros y ellos se autoevalúan y cuándo evalúa. También los evalúan otros profesores. La vez pasada puse fue a los practicantes, porque como eran las maquetas y ellos son ingenieros, entonces me interesaba que ellos participaran también de la evaluación” (P2.P10).

Con lo que manifiesta que al ser él el responsable de la cátedra de Biotecnología, él es el principal responsable de la evaluación, lo que asociamos a la heteroevaluación, sin embargo, en su respuesta también se refiere a la coevaluación y la autoevaluación como formas de evaluación de los aprendizajes de los estudiantes, y adicionalmente hace mención a mecanismos de evaluación externa, en los que participan los ingenieros que le colaboran en el acompañamiento al desarrollo de las maquetas con las que los estudiantes representan los procesos productivos que incorporan en sus proyectos finales.

Respecto a la coevaluación y autoevaluación, en su respuesta a la pregunta 10, como ya habíamos mencionado, Tomás hace referencia a una ficha evaluativa, de la que dice le permite hacer partícipes a los estudiantes de los procesos de evaluación, en este caso de las exposiciones de los modelos de la estructura del ADN:

“Resulta que ellos estaban sustentando sus modelos de ADN, entonces yo tenía unos criterios de evaluación, pero también hice partícipes a los compañeros, para que ellos también evalúen a sus compañeros, y además llevándolo a que él le formule una pregunta sobre lo que está exponiendo, entonces esa es otra forma de hacerlos partícipes de la coevaluación” (P2.P10).

En cuanto a la autoevaluación Tomás señala que se ha basado en la cartilla, la cual incorpora unos ejercicios, que le permiten identificar tanto a él como a los estudiantes mismos, las falencias y los aspectos puntuales en los que tienen dificultades de aprendizaje, y de esa manera, encontrar estrategias para superarlas:

“[...] en el tema de la autoevaluación, me he basado en la cartilla, porque ellos al final tienen que hacer la autoevaluación y me gusta cuando ellos se acercan y me dicen profe la verdad yo no supe cómo representar, el ejercicio me decía que tenía que representar las aplicaciones de la Biotecnología, no pude hacerlo, en la autoevaluación lo preguntan. Entonces ¿dónde estaba el problema?, ¿cómo puedes representar? Hay mapas conceptuales, podemos hacer unos diagramas, entonces yo le voy mostrando formas en que puede representarlo, pero lo que más me gusta es cuando se acercan” (P2.P10).

Esta descripción nos permite notar que solo en algunas de sus respuestas Tomás se expresa respecto a su conocimiento sobre la evaluación, de lo que deriva, que este sea uno de los componentes de su CDC declarativo que menos relaciones establece con los demás.



Adicionalmente, podemos observar, de acuerdo con la tabla 20, que en la mayoría de los casos la complejidad de las relaciones del componente evaluación es de referencia, a excepción de la relación Evaluación a Contenidos, que tiene complejidad intermedia, dado que, aunque en una de sus respuestas Tomás declara evaluar contenidos asociados a los aspectos epistemológicos de la Biotecnología, en otras dos respuestas, hace énfasis en la evaluación del dominio conceptual en las sustentaciones de proyectos y talleres, a través del manejo adecuado de una terminología científica, así como a la evaluación de los contenidos de leer y escribir, los cuales consideramos no son tópico específicos, lo que conlleva a una complejidad promedio intermedia.

La anterior descripción nos permite resaltar también, las diversas estrategias a las que Tomás declara acudir durante sus procesos de evaluación, con las que, de acuerdo a sus declaraciones logra llevar una evaluación formativa e integral que incorpora momentos de heteroevaluación, coevaluación y autoevaluación, orientados a la identificación por parte del estudiante del alcance de sus aprendizajes, así como de las debilidades en las que puede seguir trabajando, con lo que logra una evaluación formativa en la que se miran los procesos y no importa la equivocación siempre y cuando se pueda trabajar en ella.

Adicionalmente, cabe señalar que, como parte de la evaluación, el profesor declara tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes y los cambios que ocurren respecto a tales concepciones, en un proceso de seguimiento al aprendizaje del estudiante que ha trascendido su práctica docente y su planeación en general, lo cual, le ha llevado a hacer cambios importantes dentro de sus procesos de enseñanza de la Biotecnología, principalmente en cuanto a la implicación del conocimiento de sus estudiantes como elemento articulador de dichos procesos.

#### **4.3.3.4.6 Conocimiento sobre el contexto**

A través de sus declaraciones, podemos notar la incorporación que Tomás hace de su conocimiento sobre el contexto en los procesos de enseñanza de la Biotecnología que dice desarrollar.

Es así como, en su respuesta a la primera pregunta el profesor hace referencia al contexto de enseñanza de la Biotecnología en la institución en la que labora. En este orden de ideas señala que una de las limitantes para la enseñanza de la Biotecnología que encontró a su llegada a la institución, radicaba en la existencia de un currículo pre-establecido desde un marco positivista para el área de Ciencias Naturales, conformado por contenidos de enseñanza desarticulados de las necesidades de los estudiantes, que, por tanto, no generaba ningún interés para ellos. Adicionalmente el profesor comenta que la enseñanza de las ciencias en la jornada nocturna se realizaba sin el desarrollo de prácticas de laboratorio, dado que los profesores no querían hacerse

cargo de inventarios, y que a su llegada a la institución él firmo tales inventarios, lo que le permitió empezar a realizar actividades experimentales relacionadas con la Biotecnología.

Otra característica importante del contexto institucional mencionada por el profesor se relaciona con las características de los estudiantes a los que él enseña Biotecnología: estudiantes jóvenes y adultos con experiencias de vida y conocimientos propios, que se pueden relacionar con la Biotecnología. El profesor hace referencia también a que algunos de los estudiantes de la jornada nocturna han dejado de estudiar por un buen tiempo; a que los cursos son heterogéneos, en cuanto a las diferencias en edades (presencia de adultos mayores y jóvenes en el mismo curso); ritmos de aprendizaje, intereses, etc., características que se constituyen en un reto para él en su abordaje de la enseñanza de la Biotecnología.

En otras de sus respuestas, Tomás se refiere al conocimiento de los estudiantes que son recicladores acerca de los residuos sólidos, el cual dice, puede incorporar a las clases, estableciendo al mismo tiempo, una relación entre los contenidos de enseñanza y el contexto cotidiano de los estudiantes.

En su respuesta a la pregunta 8 Tomás también manifiesta que cuando llegó al colegio, se dio cuenta que había un laboratorio de Biotecnología, el cual era utilizado principalmente por los docentes de la jornada mañana, lo que lo motivo a *“aprovechar, éste campo de conocimiento de la Biotecnología para poder explorar nuevas formas de la enseñanza de la ciencia”* (P2.P8).

De esta manera, cabe señalar que dentro de las estrategias de enseñanza que el profesor dice emplear, en su respuesta a la primera pregunta, hace referencia a prácticas de laboratorio, en particular prácticas relacionadas con cultivos *in vitro*, las cuales ha venido realizando una vez se hizo cargo de los inventarios de los laboratorios, con las cuales dice haber abordado contenidos conceptuales y procedimentales asociados a estas técnicas biotecnológicas, pero además cuestiones relacionadas con las implicaciones de la obtención de cultivos *in vitro* en países como Argentina, Estados Unidos y México, lo que asociamos a la relación entre los contenidos de enseñanza y el contexto de la investigación biotecnológica a nivel internacional.

En esta respuesta, Tomás también menciona la lectura de textos de divulgación científica, especialmente artículos de la *Revista innovación y ciencia*; con los que ha abordado los cultivos *in vitro* como aplicación biotecnológica, y ha propiciado la discusión acerca de los aportes de ésta técnica y las razones por la que se emplea en distintos países del mundo, con lo que, dice, llega al tema de los monopolios, y a los intereses económicos implicados en la Biotecnología, lo que desde nuestra interpretación, asociamos al uso del profesor acerca del contexto mundial de la investigación Biotecnológica en la contextualización de los contenidos de enseñanza.

A este respecto, y como ya hemos mencionado, tanto en su respuesta a la primera pregunta, como en la respuesta a la pregunta 12, Tomás manifiesta que lleva a cabo un trabajo interdisciplinar con el profesor de Sociales, a quién le pide que en sus clases desarrolle ciertos temas como el de los monopolios, haciendo referencia particular a la multinacional Monsanto, productora de semillas biotecnológicas certificadas, con lo que, señala que al incorporar el contexto de la investigación y producción biotecnológica a nivel mundial, los estudiantes empiezan a hacer unas reflexiones interesantes acerca de las consecuencias de la aplicación del conocimiento biotecnológico a nivel social.

Adicionalmente, en su respuesta a la pregunta 7, Tomás manifiesta que las visitas interinstitucionales que realiza, permiten a los estudiantes ubicar los contenidos vistos en clase en un contexto, lo que nosotros asociamos al contexto de la investigación biotecnológica que se desarrolla en tales instituciones, y que le permiten la contextualización de aspectos sociocientíficos de la Biotecnología, en cuanto la relación entre el conocimiento biotecnológico y su aplicación en la industria.

En este sentido, en su respuesta a la pregunta 8 Tomás también hace mención al contexto de la Biotecnología al referirse a su propósito de acercar a los estudiantes a situaciones como la entrada de productos y aplicaciones biotecnológicas al mercado en Colombia y en el mundo, para que asuman posturas al respecto, así como frente a los avances de la Biotecnología y sus impactos en la sociedad:

*“[...] ¿Por qué me parece que la Biotecnología es importante para los estudiantes?, uno, porque ya hace parte de nuestras vidas, la diferente aplicación de la Biotecnología, hacerlos conscientes de esos avances biotecnológicos, de todas esas aplicaciones y también dentro de un mercado porque todos estos productos finalmente llegan al mercado, al comercio y hay unos fines económicos, etc., entonces era muy importante que ellos se dieran cuenta de que estaba sucediendo hoy, aquí, no sólo en Colombia, en el mundo y que nos acerquemos a ese conocimiento, para que ellos también asuman posturas, una posición frente a todos éstos avances, a todos los impactos que pueda tener en la sociedad” (P2.P8).*

En su respuesta a la pregunta 9 el profesor reitera que lo que pretende es contextualizar las aplicaciones de la Biotecnología, pero más allá de eso, desarrollar un pensamiento crítico al respecto, en la población estudiantil de jóvenes y adultos, con la que labora.

De otra parte, en sus respuestas, y como ya hemos señalado, Tomás manifiesta acudir a situaciones del contexto cotidiano de los estudiantes para abordar ciertos contenidos de Biotecnología, entre ellos la relación entre las labores del campo y el mejoramiento de recursos agrícolas y la relación entre los residuos orgánicos generados en Abastos y la transformación

biotecnológica de biomasa, que menciona en su respuesta a la pregunta 10, posición que reitera en su respuesta a la pregunta 13:

*“Sí, miren saben por qué me gusta, ¿por qué me apasiona la Biotecnología? Porque es que ahí confluyen tantas cosas, me encanta no quedarme solamente en el conocimiento científico sino lo que hay detrás y como se van tejiendo las relaciones interesantes, ahí es donde yo le encuentro sentido y significado porque lo que yo enseñé en Biotecnología indudablemente yo lo puedo ver en un supermercado, lo puedo ver en las relaciones de las personas en una empresa, lo puedo ver de muchas formas y ahí es donde yo digo la Biotecnología me permite abordar diferentes escenarios, en términos de relaciones, de conocimientos, en términos de investigación, en términos de emprendimiento o sea, por esa connotación que tiene la Biotecnología...”* (P2.P13).

En la que dice establecer relaciones entre los contenidos de enseñanza y el contexto cotidiano de los estudiantes, dado que lo que él enseña se puede ver en el supermercado y en las relaciones de las personas en una empresa, entre otras cosas.

Lo anterior se corresponde con su respuesta a la pregunta 14, en la que manifiesta que, al estructurar el proyecto de enseñanza, en cuanto a qué enseñar y por qué enseñarlo, reflexionó acerca de la necesidad de contextualizar a los estudiantes en relación con la Biotecnología a partir de situaciones de la vida cotidiana, con lo cual complejizar sus conocimientos previos al respecto:

*“Básicamente, cuando yo empecé este cuento, yo no tenía ni idea por donde iba a arrancar. Yo dije, será que lo que tengo que enseñar serán técnicas, laboratorios, que vamos a hacer un kumis, un yogurt, ¿sí?, entonces yo empecé como a leer y como a mirar y dije, yo tengo que primero ubicar a los estudiantes en el contexto de la Biotecnología, porque la primera pregunta que va a surgir es: Profesor, ¿qué es eso de Biotecnología?, o ¿es Biología? Y como el término no es usual, no lo manejamos, entonces yo dije tengo que arrancar por eso, entonces, por inscribir a ellos en un conocimiento que es la Biotecnología y empezar a ver cómo abordamos el término como para que ellos le encuentren sentido y lo puedan confrontar con la vida real, con la cotidianidad de los estudiantes, pero tengo también que desarrollar unos conocimientos de ciencias, de Microbiología, de Genética, etc.”* (P2.P14).

A partir de todo lo anterior, podemos interpretar entonces que el conocimiento del profesor Tomás acerca del contexto tanto a nivel institucional, como a nivel de situaciones cotidianas y de la investigación y producción biotecnológica en los ámbitos nacional y mundial, le permite estructurar su propuesta de enseñanza de la Biotecnología en el colegio en el que trabaja, en tanto a los propósitos, los contenidos, y las estrategias, desde una perspectiva sociocrítica de la enseñanza de la Biotecnología.

Dicha propuesta parte del conocimiento que Tomás tiene tanto de las instalaciones del colegio, como de las características de sus estudiantes. En este sentido, el profesor hace mención a los laboratorios, especialmente al laboratorio de Biotecnología, el cual se encuentra dotado para la realización de cultivos *in vitro*, por lo que uno de los módulos del énfasis en Biotecnología, corresponde precisamente al aprendizaje de técnicas de cultivos *in vitro*. Se refiere también a los estudiantes de la jornada nocturna, como jóvenes y adultos, cuyas experiencias de vida les dotan de conocimientos que pueden ser incorporados a la estructura curricular del énfasis en Biotecnología, y que además Tomás busca complejizar a través de situaciones contextuales, posibilitando al mismo tiempo la toma de decisiones y posiciones respecto a las implicaciones de la Biotecnología.

Cabe señalar además que, aunque inicialmente la propuesta de enseñanza de Tomás contemplaba una estructura curricular articulada con los demás campos del conocimiento y para todos los niveles de educación (primaria, secundaria y media), del colegio, la situación respecto al contexto institucional, lo lleva a replantear su propuesta y a hacerse a cargo del énfasis en Biotecnología en la Educación Media de la jornada nocturna de la institución. Con lo que, de manera general, nos atrevemos a señalar que, en su globalidad, el conocimiento de Tomás sobre el contexto define el currículo del énfasis en Biotecnología que implementa en el colegio.

Adicionalmente, cabe resaltar, de acuerdo al mapa construido (Figura 20) y a la tabla 20, que a pesar que el componente Contexto es uno de los componentes minoritarios del CDC declarativo de Tomás, juega un papel importante en la complejidad y articulación de este CDC, en tanto le permite plantear estrategias encaminadas a contextualizar la Biotecnología de diferentes maneras y así mismo, contextualizar los contenidos de enseñanza, y orientar sus propósitos a la comprensión de las implicaciones de la Biotecnología en la sociedad, y de allí a la toma de decisiones y postura crítica al respecto.

#### **4.5 REFERENTES DEL PROFESOR TOMÁS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA**

A continuación, presentamos nuestra interpretación acerca de los conocimientos del profesor Tomás sobre la Biotecnología, derivada de la sistematización de las respuestas al instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología (Anexo 2), de acuerdo a lo descrito en el capítulo de metodología (ver numeral 3.4.2).

#### 4.5.1 Conocimiento del profesor Tomás sobre la Naturaleza de la Biotecnología

El análisis de contenido de las respuestas de la entrevista semiestructurada, así como su posterior interpretación y triangulación nos permiten señalar los siguientes aspectos referidos al conocimiento del profesor en relación con las subcategorías de la categoría conocimiento sobre la Naturaleza de la Biotecnología.

##### 4.5.1.1 Aspectos epistemológicos de la Biotecnología

Respecto al estatus epistemológico de la Biotecnología, en su respuesta a la pregunta 1 Tomás manifiesta que para él la Biotecnología es una tecnociencia, señalando al mismo tiempo que la Biotecnología es un campo donde confluyen la ciencia y la tecnología, como en el caso en el que se aplica un conocimiento de carácter científico en una situación particular haciendo uso tanto de herramientas como de estructuras o procesos biológicos:

*“cuando me preguntan a mí qué es la Biotecnología, de una vez yo respondo que es una tecnociencia, sí, de una vez, pero esto no fue que surgió ahora, es decir, en el caso mío siempre ha habido esa claridad [...] yo me fui centrando un poco más en considerarla como tecnociencia desde el punto de vista que tenemos ahí un campo donde confluyen realmente áreas, diferentes áreas de conocimiento, y donde realmente vemos como la ciencia se imbrica con el tema de la tecnología, cuando empezamos a aplicar un conocimiento de carácter científico, ya en una situación particular, ¿sí?, y que utilizamos pues obviamente diferentes herramientas, utilizamos pues obviamente estructuras biológicas, ¿sí?, o procesos biológicos, entonces empecé a darme cuenta que no podía ser determinista, digamos desde el punto de vista de decir esto es una ciencia o esto es una tecnología, lo veo como un campo donde confluye la ciencia y la tecnología, ¿sí?, y confluye no precisando precisamente cuál es el objeto, porque veo que hay imbricado un conocimiento donde confluyen éstas dos, si se pueden llamar áreas, que es la ciencia y la tecnología, ¿sí?, entonces consideré que la mejor forma de describir, desde el punto de vista de qué considero que es la Biotecnología era ubicándome en el terreno de la tecnociencia”* (P2.P1).

En esta respuesta identificamos también elementos que hacen parte del objeto de la Biotecnología, como el uso de estructuras biológicas o procesos biológicos, al que nos acabamos de referir, así como la obtención de resultados o productos, a la que se refiere cuando le solicitamos que nos indique un ejemplo de Biotecnología desde la perspectiva de la tecnociencia:

*“[...] Yo diría que hay varios ejemplos, uno de ellos podría ser, bueno, yo podría considerar, si me meto por el lado de los cultivos in vitro, desde ese punto de vista, yo diría que si hay un conocimiento cuando yo trabajo con estructuras vegetales, cuando yo tengo que conocer de la morfofisiología de la planta por ejemplo, ahí, pues estoy trabajando desde la ciencia, ¿sí?, estoy*

trabajando desde la Biología vegetal, estoy trabajando en la caracterización morfofisiológica de esa estructura, de esa planta, resulta que cuando yo empiezo ya desde el punto de vista de la propagación vegetal por ejemplo, entonces ya empiezo a meterme no solo con esa estructura sino mirar cuáles son los efectos de colocar esas estructuras en unas condiciones, digámoslo así, artificiales donde voy a combinar diferentes técnicas para que pueda esa estructura, a partir de esas células totipotenciales desarrollarse, ¿sí?, entonces, digamos que yo lo que veo es, ese conocimiento que utilizo, que aplico, ¿sí?, con unas herramientas, pero también hay que verlo desde este punto de vista, no es solo el hecho de usar un equipo, o de utilizar una herramienta por usarla, sino es lo que eso produce. Entonces, tengo una estructura biológica, aplico unas técnicas para obtener un resultado, entonces, no va solamente el tema del conocimiento, sino qué hago con ese conocimiento para generar un producto” (P2.P1).

Cabe señalar, además, que en su respuesta a la primera pregunta Tomás mencionó que la Biotecnología tiene implicaciones sociales, genera discusiones y actitudes de aceptación y rechazo, lo cual relacionó directamente con el estatus epistemológico de tecnociencia que le atribuye a la Biotecnología, como podemos ver a continuación:

“la Biotecnología tiene impactos, obviamente sociales, el hecho de que ya haga parte, o sea, lo que se hace con Biotecnología, desde el punto de vista, digamos de los productos o de las aplicaciones, cuando ya se incorporan en una sociedad generan unos cambios de diferente orden pero generan unos cambios, por ejemplo, el tema de alimentos, ¿sí?, por ejemplo, el tema pues de los transgénicos y todas estas cosas que circulan, porque digámoslo que de todas maneras, para la gran mayoría de la población es algo desconocido, incierto, y pues obviamente está atravesado por los medios de comunicación también y por la desinformación, que puede conducir a generar en la gente hasta miedo, a decir, es que esto que salió de la Biotecnología nos puede afectar, esto puede ser malo, eh, no es natural, eh, ¿sí?, entonces hay una serie de discusiones, y por eso la Biotecnología la estamos mirando como tecnociencia pero dentro de un contexto, ¿sí?, porque de todas maneras eso que se hace allí afecta la vida de las personas, y obviamente crea en las personas un sentido de rechazo o de aceptación” (P2.P1).

Con lo que, desde nuestra interpretación, en las respuestas que surgen durante el desarrollo de la primera pregunta, Tomás expresa claramente aspectos epistemológicos de la naturaleza de la Biotecnología, desde la perspectiva de una tecnociencia, que la distinguen de otros estatus epistemológicos, entre ellos, la relación entre el conocimiento científico y el tecnológico, los cuales se superponen cuando se trata de una aplicación orientada a obtener un producto, así como las implicaciones y los conflictos que presenta a la sociedad.

En este sentido, podemos señalar que en otras de sus respuestas Tomás reiteró estos elementos del objeto de la Biotecnología.

Es así como, en su respuesta a la pregunta 3.1 Tomás señala que está de acuerdo con que la fabricación de pan sea parte de la Biotecnología, ya que involucra la participación de un ser vivo: la levadura, así como la mediación de un proceso fermentativo, a través del cual se produce gas carbónico; en su respuesta Tomás señala además que se puede hacer pan sin levadura, y que en ese caso no se estaría hablando de Biotecnología, con lo que reitera la mediación de agentes biológicos en los procesos biotecnológicos. En este sentido, en su respuesta a la pregunta 3.2 Tomás expresa que está completamente en desacuerdo con que las técnicas cristalográficas para determinar la estructura de las proteínas corresponden a la Biotecnología, ya que no involucran el uso de seres vivos.

En cuanto a la obtención o fabricación de productos como elemento del objeto de la Biotecnología, podemos mencionar que en su respuesta a la pregunta 3.3 Tomás señala que para él ni los procedimientos de reproducción asistida por fertilización *in vitro*, ni la obtención de piel corresponden a la Biotecnología porque en ninguno de los dos casos se está obteniendo un producto diferente al que se obtendría en condiciones naturales, razón por la cual preguntamos si la Biotecnología implicaba la innovación, a lo que el profesor señaló que no, mencionando como ejemplos la producción de kumis o yogurt, lo que, desde nuestra interpretación, da cuenta que para Tomás la Biotecnología moderna es la que involucra la obtención de productos diferentes, a partir quizás de procesos de manipulación genética.

A raíz, de esta respuesta, le preguntamos a Tomás por la producción y comercialización como componentes de la Biotecnología, a lo que él respondió que la Biotecnología si tiene una connotación comercial, de forma que, desde nuestra interpretación, para Tomás el objeto de la Biotecnología está conformado tanto por la producción e innovación, como por la comercialización de tales productos:

*“A ver, pues es que yo lo que he visto, todo es comercialización, o sea, por ejemplo yo me pongo a mirar incluso desde la insulina, de ahí en adelante, ¿no?, empiezo a mirar eso, lo que se hace en el agro, lo que se hace del mejoramiento, todo esto, lo que se hace por ejemplo con todo el tema de la Ingeniería Genética, todas estas cosas, ahí hay un trasfondo, de lo que estábamos hablando del poder y del biopoder, ahora, en qué caso uno diría por ejemplo que no tiene esa connotación comercial” (P2.P3.3).*

En este fragmento observamos también que para Tomás el biopoder es un elemento característico de la Naturaleza de la Biotecnología, que tiene que ver con una postura política e ideológica en cuanto al objeto y la finalidad de la Biotecnología.

De otra parte, en su respuesta a la pregunta 5 derivan como objeto de la Biotecnología la manipulación de la información genética y la síntesis de moléculas en la obtención de productos. Esto cuando Tomás señala que la Ingeniería Genética es un campo de la Biotecnología en tanto



ofrece posibilidades de manipular la información genética y poder así, luego de codificar y conocer exactamente el gen que la va a producir, sintetizar algún tipo de molécula, útil, por ejemplo, en la fabricación de un biofármaco.

De su respuesta a la pregunta 3.3 aparece además la fundamentación científica de la producción biotecnológica como elemento del objeto de la Biotecnología, lo anterior cuando Tomás señala que las primeras civilizaciones, entre las que menciona a los egipcios, realizaban procesos biotecnológicos, sin tener conocimientos científicos al respecto; en este sentido, el profesor señala además que hoy en día sucede algo parecido, ya que los campesinos hacen queso sin conocer las razones científicas por las que ocurren ciertas transformaciones, lo que para él no se puede catalogar como Biotecnología ya que durante esa producción no hay un desarrollo fundamentado.

En este sentido, cabe señalar que en su respuesta a la pregunta 4, Tomás reitera la fundamentación científica como un elemento de la Naturaleza de la Biotecnología, que trasciende la implementación de técnicas de producción en las que se emplean seres vivos, como la elaboración de pan, y que la caracteriza como una tecnociencia, de esta manera responde que un panadero no es un biotecnólogo, ya que *“un panadero lo que sabe es hacer pan”* (P2.P4).

Respecto a la finalidad de la Biotecnología Tomás señala en su respuesta a la segunda pregunta, que ha habido unas experiencias concretas en las que la Biotecnología ha generado beneficios a la humanidad, como la resistencia de las plantas a los plaguicidas y la técnica de cultivo *in vitro*, que contribuye a mejorar algunos sectores de producción, en términos de rentabilidad, pero también de subsanación de problemas que puede haber donde el suelo no es fértil y hay problemas para cultivar. Ante nuestro cuestionamiento el profesor señala que los beneficios de la Biotecnología no están centrados solamente en el ser humano, ya que a través de ella se puede contribuir a la conservación de la biodiversidad e incidir en la recuperación de los ecosistemas a través de la biorremediación de aguas residuales, como podemos ver a continuación:

*“[...] No únicamente, sí, tienes razón, si porque yo puedo también contribuir con la Biotecnología a conservación de la Biodiversidad, ¿sí?, o por ejemplo con todo el tema de biorremediación, también incidir en los ecosistemas, en todo el tema de aguas residuales, etcétera, entonces también desde ahí se aporta desde la Biotecnología, sí, es cierto, que no solo está centrado en el ser humano”* (P2.P2).

Lo anterior es reiterado en su respuesta a la pregunta 9, en la que señala que la finalidad de la Biotecnología no es solo mejorar el bienestar del hombre, sino también el de los ecosistemas, los animales y las plantas, desde el punto de vista ambiental, aunque reconoce que en él está más interiorizado el punto de vista antropocéntrico.

Adicionalmente, cabe señalar que de acuerdo a su respuesta a la pregunta 5, para Tomás una de las finalidades de la Biotecnología radica en generar una alta productividad. Lo anterior cuando menciona:

*“[...] yo escucho cuando asisto a eventos en los que se habla de Biotecnología, eh, casi siempre en esas intervenciones está incorporado el tema económico, ¿sí?, entonces habla Corpogen, habla Corpoica de todos sus trabajos, y a pesar que tratan de darle una perspectiva científica al trabajo que están haciendo, de todas maneras veo una intencionalidad muy marcada, ellos tienen que obedecer también a unas políticas, los que son entidades privadas, pues ellos obviamente también tienen una intencionalidad y es no sólo estar en el mercado, posicionarse en el mercado, sino también generar una alta productividad” (P2.P5).*

En cuanto a la producción y validación del conocimiento biotecnológico, cabe señalar que en su respuesta a la pregunta 5 Tomás expresa que en la Biotecnología hay distintos niveles de conocimiento, un nivel de estudio básico, que corresponde al conocimiento científico, el cual, cuando es usado con unos propósitos económicos, se eleva a otro escenario que puede ser el de la Biotecnología. En este sentido, en el transcurso de su respuesta Tomás reitera que dentro del conocimiento biotecnológico hay un conocimiento de base, que se obtiene a través de una investigación científica y que se valida por las comunidades, y llega a otros niveles en los que influyen factores como los económicos y de biopoder, por lo que en ese nivel la validación es otra, ya no es solo científica, de lo que interpretamos, que para el profesor Tomás, la validación del conocimiento biotecnológico no se da solamente a través de las comunidades científicas.

De su respuesta también deriva que el trabajo de la Biotecnología se realiza de una manera interdisciplinar, de lo que finalmente resultará un tipo de producto, pero también un constructo o conocimiento enriquecido, con lo que, para Tomás la investigación biotecnológica genera tanto productos biotecnológicos, como conocimiento biotecnológico.

En este orden de ideas, pone como ejemplo la investigación que condujo a la fabricación de una célula sintética en el laboratorio, señalando que es un ejemplo de investigación biotecnológica que genera conocimiento alrededor de las posibilidades de producir una estructura biológica artificial.

En cuanto a las diferencias entre la manera como se produce y valida el conocimiento biotecnológico y la manera como se produce y valida el conocimiento científico, el profesor señala que dichas diferencias radican en el interés que orienta las investigaciones, lo que en el caso de la Biotecnología, asocia a temas como lo económico y de poder, así como de obtención de productos con características acordes a las necesidades y criterios, las cuales pueden partir del criterio de la comunidad científica o de la empresa, mientras que en el caso de la investigación científica hay un interés colectivo que es avalado por la comunidad científica:

*“Pues yo pienso que si hay unas diferencias, yo pensaría que sí, porque volvemos al tema, ¿no?, eh, ¿por qué mi interés de investigar en Biotecnología?, o sea, ¿cuál es ese interés?, entonces volvemos al tema, el tema es económico, es de poder, ¿sí? y casi que están llevando a que investiguen sobre esto, yo necesito este producto, con estas características, y yo pongo allá a los científicos y a toda esta gente a investigar para que me generen lo que yo necesito, es diferente cuando uno investiga, eh, que hay un interés colectivo por ejemplo y que es avalado también por la comunidad científica, yo diría la investigación biotecnológica, eh, ¿parte por el criterio de la comunidad científica o de la empresa?” (P2.P5).*

De la respuesta de Tomás a esta pregunta, también surge, como ya hemos mencionado, que, para él, el trabajo en Biotecnología tiene como intencionalidad generar una alta productividad, lo que, desde nuestra interpretación constituye tanto una condición de producción del conocimiento biotecnológico, como una finalidad de la Biotecnología.

Adicionalmente Tomás señala que las empresas biotecnológicas validan su conocimiento a través de la venta de servicios, en este sentido el profesor se refiere a servicios como la secuenciación de ADN en el tema de criminalística y a pruebas de paternidad.

De otra parte, en varias de sus respuestas Tomás hace referencia a su perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología. Así, y como ya lo mencionamos, en su respuesta a la primera pregunta, señala que en la Biotecnología confluyen varios conocimientos de diferentes disciplinas, y además que en la Biotecnología se imbrican la ciencia y la tecnología.

En este orden de ideas, en su respuesta a la pregunta 5, Tomás reitera su perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología: *“cuando uno habla por ejemplo de que la Biotecnología es interdisciplinar y que confluyen diferentes disciplinas y profesionales, y cada uno está aportando desde su ciencia, digámoslo así, eh, todo ese trabajo que se hace colectivo, finalmente va a resultar en un tipo de producto, pero también en un constructo, un conocimiento, un conocimiento que es enriquecido digámoslo así...” (P2.P5).*

Adicionalmente, en su respuesta a la pregunta 6, Tomás señala que el desarrollo de la Biotecnología requiere la participación de economistas, lo que asocia a la intención de producción de la Biotecnología, dando cuenta de la participación de distintos sectores de la sociedad en la actividad biotecnológica.

En su respuesta a la pregunta 8, también notamos una perspectiva interdisciplinar de la Biotecnología, lo anterior, cuando Tomás expresa que en su orden los campos de conocimiento que se incorporan a la Biotecnología son la Biología, la Química, la Genética, el campo ambiental, el campo industrial, la Medicina, la Bioética y la Microbiología. En su respuesta observamos además que para el profesor el campo legal no es un campo concreto incorporado a la Biotecnología, sino que tiene relación con la regulación de los productos biotecnológicos.

Desde nuestra interpretación Tomás hace mención a unos campos de conocimiento que podemos asociar a tres grandes bloques: la producción – aplicación (cuando se refiere al campo industrial, a la medicina y al campo ambiental); las ciencias básicas (la Biología, la Química, la Genética y la Microbiología), y otro que podría hacer referencia a las relaciones entre la Biotecnología y la sociedad (la Bioética y la regulación de los productos biotecnológicos). De lo anterior, y desde nuestra perspectiva, en la respuesta de Tomás subyace el reconocimiento de la incorporación de relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente al interior de la Biotecnología, lo que coincide con su perspectiva tecnocientífica de la Biotecnología.

Lo anterior se relaciona con la respuesta que Tomás da a la pregunta 7, en la que le solicitamos un listado de los conceptos fundamentales de la Biotecnología, en la que Tomás hace mención a los conceptos que dice enseñar, entre ellos: definición de Biotecnología; fermentación: metabolismo celular, tipos de fermentación; biomoléculas: identificación de biomoléculas; Microbiología: bases de la Microbiología, qué es una bacteria, las características de una bacteria, reproducción bacteriana; tipos de Biotecnología e Ingeniería Genética. Más adelante en su respuesta, tal y como podemos notar a continuación, también se refiere a contenidos como: Historia de la Biotecnología; procesos productivos; relación entre las aplicaciones de la Biotecnología y los procesos industriales; beneficios de las aplicaciones biotecnológicas, Bioética, reflexión y discusión sobre los beneficios de la Biotecnología, sobre la contribución de la Biotecnología al desarrollo de un país o al bienestar de una comunidad. Al final de la respuesta el profesor manifiesta que estos mismos conceptos serían para él grandes conceptos de la Biotecnología, aunque no lo dice tan convencido.

El análisis interpretativo nos lleva a clasificar los contenidos de enseñanza mencionados por el profesor en tres grandes bloques, el primero, conceptos de las ciencias básicas, entre ellos: metabolismo celular, tipos de fermentación, biomoléculas, características de las bacterias, reproducción bacteriana; el segundo relacionado con la producción y/o aplicación, cuando se refiere a la Ingeniería Genética, los procesos productivos y las relaciones entre las aplicaciones biotecnológicas y los procesos productivos, así como otro campo en el que podría estarse refiriendo a las relaciones entre la Biotecnología y la sociedad: Historia de la Biotecnología, Bioética, reflexión y discusión sobre los beneficios de la Biotecnología y sobre la contribución de la Biotecnología al desarrollo de un país o al bienestar de una comunidad.

De lo anterior, y desde nuestra interpretación, en esta respuesta evidenciamos una alta correspondencia entre lo que Tomás declara acerca de la interdisciplinariedad de la Biotecnología y los contenidos de enseñanza que considera fundamentales, los cuales, tienen además una relación directa con la Naturaleza de la Biotecnología desde la perspectiva de la tecnociencia.

#### 4.5.1.2 Aspectos históricos de la Biotecnología

Algunas de las respuestas dan cuenta de los referentes de Tomás acerca de los aspectos históricos de la Biotecnología.

Es así como, en su respuesta a la pregunta 3.1 se refiere al pan como el primer producto biotecnológico, con lo que da cuenta de su conocimiento acerca de la tradición histórica de algunos productos considerados hoy en día como biotecnológicos.

Tomás también da cuenta de este conocimiento a través de su respuesta a la pregunta 4, en la que le solicitamos que enumerara en orden cronológico los hechos o sucesos más importantes en la historia de la Biotecnología.

En este orden de ideas se refiere a la fermentación, la cual, señala, aparece con el trabajo de Pasteur y sus experimentos, de los cuales se logró identificar la naturaleza de los microbios y avanzar en la Bioquímica. De acuerdo con Tomás este conocimiento es muy importante para la Biotecnología, por cuanto se constituye en un antecedente del conocimiento sobre la naturaleza de los microorganismos como agentes biológicos y de la concepción de la vida.

Ante el cuestionamiento Tomás señala, además, que está de acuerdo con que este es un aporte al componente científico de la Biotecnología, el cual reitera es un antecedente importante de la historia de la Biotecnología, a pesar que en esa época no existía la Biotecnología como un corpus teórico y reflexivo sobre un hecho en particular, como podemos ver a continuación:

*“¿Dónde yo digo esto es Biotecnología, y esto no es Biotecnología?, ¿sí?, ese es un problema que tenemos, porque yo me ponía a mirar los libros de Historia de la Biotecnología y pues lo llevan a uno a hacer un recorrido, pero entonces yo me ponía a pensar por qué esa historia de la Biotecnología si no había emergido como Biotecnología en el pasado, como Biotecnología, como un corpus teórico o reflexivo sobre un hecho que diga esto es Biotecnología, ¿no?, nosotros estamos tratando de mirar cosas del pasado a algo que hoy ya tenemos más elaborado, digámoslo así, que me puede dar cuenta de la Biotecnología, entonces no es fácil [...] Por eso yo diría que son antecedentes, o sea, son sucesos que aportan y que encadenándolos nos llevan a ese nuevo campo que es la Biotecnología” (P2.P4).*

El profesor se refiere al descubrimiento de Fleming acerca de los antibióticos como otro hecho que se constituye en un antecedente de la Biotecnología, dado que fue un conocimiento que además significó para la Biología misma la posibilidad de comprender que los microorganismos constituyeran la base del tratamiento de ciertas enfermedades, lo que conllevó al desarrollo de vacunas y fármacos.

Ante el cuestionamiento, Tomás señala que los hitos a los que se refiere pueden ser considerados científicos dado que surgen en un momento en el que predomina una perspectiva científica de la investigación, por lo que no se pueden asociar a la tecnociencia. No obstante, señala también que él es *“partidario de creer que el conocimiento evoluciona, que el conocimiento es cambiante, de acuerdo a diferentes paradigmas que son válidos en su momento pero que después pueden ir cambiando y se van nutriendo también de otros conocimientos”* (P2.P4), de lo que subyace, la idea que el conocimiento científico puede evolucionar y transformarse en conocimiento tecnocientífico.

Para el profesor otro hecho que hace parte de la historia de la Biotecnología es el establecimiento del modelo de la estructura del ADN, refiriéndose a este modelo como el resultado de investigaciones anteriores acerca de la teoría celular, la naturaleza de la célula, la estructura celular, las funciones de las células y de la Genética en cuanto a la historia de la identificación del núcleo y de la estructura y función de los ácidos nucleicos.

Ante los cuestionamientos respecto a hitos que sean *sensu estricto* de la Biotecnología, el profesor señala el tema de los transgénicos, expresando también, y como ya habíamos señalado, que el componente de la comercialización hace parte de la Biotecnología.

#### **4.5.1.3 Aspectos sociológicos de la Biotecnología**

En algunas de sus respuestas Tomás también se refiere a aspectos sociológicos de la naturaleza de la Biotecnología.

En este orden de ideas, en su respuesta a la primera pregunta Tomás señala que la Biotecnología tiene impactos sociales, dado que cuando los productos o las aplicaciones se incorporan en una sociedad generan cambios de diferente orden, los cuales están mediados por los medios de comunicación y por la desinformación, lo que puede conducir a generar en la gente miedo y una serie de discusiones respecto a los beneficios y perjuicios de los productos biotecnológicos, expresando además que mira la Biotecnología como tecnociencia pero dentro de un contexto, porque lo que hace la Biotecnología afecta la vida de las personas y puede generar actitudes de aceptación o rechazo.

*“porque digámoslo que de todas maneras, para la gran mayoría de la población es algo desconocido, incierto, y pues obviamente está atravesado por los medios de comunicación también y por la desinformación, que puede conducir a generar en la gente hasta miedo, a decir, es que esto que salió de la Biotecnología nos puede afectar, esto puede ser malo, eh, no es natural, eh, ¿sí?, entonces hay una serie de discusiones, y por eso la Biotecnología la estamos mirando como tecnociencia pero dentro de un contexto, ¿sí?, porque de todas maneras eso que*

se hace allí afecta la vida de las personas, y obviamente crea en las personas un sentido de rechazo o de aceptación” (P2.P1).

En este sentido, en su respuesta a la segunda pregunta, Tomás señala que en la medida que ha estudiado sobre Biotecnología, ha dimensionado sus impactos en la sociedad:

*“En mi caso, mira que he tomado distancia un poco, digamos que yo cuando arranqué con el tema de Biotecnología, yo lo veía más desde el punto de vista del conocimiento, ¿cierto?, y de poder generar diferentes cosas, productos, o hacer alguna aplicación, pero no dimensionaba el tema social, y ya cuando me fui metiendo un poco a estudiar y a ver diferentes perspectivas sobre los impactos de la Biotecnología en la sociedad, entonces empecé a ver posturas, y entonces, unos a favor, otros en contra, yo por ejemplo, en dónde me ubico, yo no digo, como dice la segunda pregunta que si es buena o mala, pues a mí no me gusta catalogar en bueno o malo, eso es muy relativo, es como eso del bien o el mal, o sea digamos que como todo, en manos de quién cae, con qué propósito, ¿sí?” (P2.P2).*

De acuerdo con lo anterior, en su respuesta a la pregunta 10, Tomás manifiesta que la Biotecnología tiene implicaciones de orden económico, social, y otras que tienen que ver con el tema de la regulación de la investigación biotecnológica, porque a pesar que hay unos protocolos y unos acuerdos, la incorporación de productos biotecnológicos al mercado es diferente dependiendo de la regulación de los países y las regiones (como Argentina, Alemania, Latinoamérica y Europa), lo que también tiene que ver con las creencias y la religión.

En esta respuesta, y de manera adicional, Tomás expresa que en la práctica se pueden observar las implicaciones de la Biotecnología en casos concretos como el problema con las semillas certificadas de Monsanto y la situación de los campesinos, lo que denomina una situación delicada *“porque mira que es agresiva de todas maneras frente a las dinámicas que se dan en el campo y todo el tema agrícola, y todo el tema de los cultivos, y todo lo que por tradición además se viene trabajando en todas las regiones y la posibilidad de que los campesinos puedan tener no solo unos ingresos, sino las posibilidades de que puedan desarrollar el campo de una forma mucho más natural, orgánica” (P2.P10).*

Para el profesor, otra de las implicaciones se da en términos de la desigualdad en el acceso a los productos biotecnológicos, señalando que *“muy pocas personas pueden acceder a esos biofármacos porque son muy costosos” (P2.P10).*

En este sentido, Tomás también señala que lo anterior es consecuencia de las patentes, manifestando que la *“Biotecnología cambia la misma concepción de lo que es la vida” (P2.P10)* y que se debe entrar en ese terreno de lo que está pasando en la ciencia y llevarlo al plano de lo que se está enseñando, no solo en la Biotecnología, sino en la Biología misma. Expresión que da

cuenta del plano ontológico que sobre la Biotecnología sostiene Tomás, y que implica la importancia de enseñar la complejidad de las relaciones entre la ciencia y la tecnología inmersas en la Biotecnología.

#### **4.5.2 Creencias del profesor Tomás sobre la Biotecnología**

*A partir de las respuestas al instrumento (Anexo 2), a continuación, presentamos nuestras interpretaciones respecto a las creencias de Tomás sobre la Biotecnología.*

*La respuesta de Tomás en cuanto a si la Biotecnología es buena o mala, nos permite notar que desde su percepción la Biotecnología no es ni buena ni mala, lo anterior cuando manifiesta:*

*“[...] pues a mí no me gusta catalogar en bueno o malo, eso es muy relativo, es como eso del bien o el mal, o sea digamos que como todo, en manos de quién cae, con qué propósito, ¿sí?, o sea, yo analizo un poco más hacia allá, o sea yo no puedo decir que la Biotecnología es mala porque de todas maneras si ha habido unas experiencias concretas en el mundo donde ha generado beneficios a la humanidad, eh, no me puedo proyectar a futuro porque no sé qué pueda pasar, o sea qué pueda generarse con esto que está haciendo la Ingeniería Genética y con todos estos cambios que pueda estar generando a futuro, ¿no?, pero por lo pronto, atendiendo a necesidades concretas, como la parte agrícola, como el tema de...” (P2.P2).*

Como podemos notar, en este fragmento de su respuesta, encontramos expresiones que nos llevan a poner en duda si los argumentos de Tomás provienen de conocimientos formalizados o de sus creencias, como cuando señala que la Biotecnología no es buena ni mala, sino que depende de las manos en las que cae y, que no se puede proyectar a futuro porque no sabe que pueda pasar con lo que está haciendo la Ingeniería Genética, con lo que, desde nuestra interpretación, da cuenta de sus expectativas en cuanto a los avances de la Biotecnología, y por tanto de un componente cognitivo asociado a una creencia; o cuando dice que él analiza más allá y mira el desarrollo de la Biotecnología, su propósito y sus beneficios, lo que nos permite plantear que en su respuesta acude a argumentos basados en conocimientos más formalizados.

En este sentido, más adelante en su respuesta Tomás expresa:

*“[...] yo no digo es bueno o es malo, yo analizo las aplicaciones y cuáles son los propósitos y qué se ha venido generando ya en términos de cosas concretas de aplicación que yo vea que si está solucionando una situación determinada. Qué si veo, así como entre comillas, qué veo, que es importante revisar el tema, es cuando empezamos ya a hacer experimentos, desde el punto de vista genético, ¿sí?, donde pues yo siempre les pongo a ellos para analizar y yo también me pongo a*



*analizar, lo que muestran en la película la Granja de Frankenstein, ¿sí?, que me parece interesante desde el punto de vista didáctico para ver las dos posiciones, la persona que está en contra de todo ese tipo de manipulación genética y la bióloga que está a favor de ese trabajo científico y de aplicación, ¿sí?, entonces, ahí es donde yo veo digamos con mucho cuidado, que si no hay una regulación a nivel mundial sobre las investigaciones que se hagan en Biotecnología eso se puede desbordar, y podemos generar ahí si como se dice un monstruo, o podemos incluso alterar la genética, obviamente de los seres vivos, y todo como buscando generar algo productivo, ¿no?” (P2.P2).*

En este fragmento de su respuesta Tomás reitera el análisis que hace de las aplicaciones y los propósitos de la Biotecnología, sin embargo, también encontramos expresiones en las que, desde nuestra interpretación, subyace un componente afectivo de una creencia, esto cuando Tomás manifiesta que revisan junto a los estudiantes el tema de los experimentos que tienen que ver con Genética, a través de lo que muestran en la película La granja de Frankenstein, lo que lo lleva a plantear que si no hay una regulación a nivel mundial sobre las investigaciones que se hagan en Biotecnología, tales investigaciones se pueden desbordar y generar “un monstruo”, por buscar la generación de algo productivo como hacen con el ganado.

En ambos fragmentos podemos notar que las valoraciones de la Biotecnología que hace el profesor están sustentadas en un fundamento teórico acerca de los impactos de la Biotecnología en la sociedad. Podemos notar también, que sus expresiones no derivan de experiencias, sino de la revisión frente a los procesos biotecnológicos y sus implicaciones, que confluyen en un posicionamiento en cuanto al referente epistemológico de la Biotecnología.

#### **4.6 RELACIONES ENTRE EL CONOCIMIENTO SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA Y EL CDC DE BIOTECNOLOGÍA DE LOS PROFESORES ESTUDIADOS**

Buscando alcanzar el último objetivo de esta tesis, a continuación, presentamos las relaciones identificadas entre el conocimiento sobre la Biotecnología y el CDC, tanto en acción como declarativo de los profesores Alejandra y Tomás.

Cabe señalar que los resultados acerca del CDC y el conocimiento sobre la Biotecnología que hemos presentado hasta el momento, han sido abordados desde una mirada analítica; y que en lo que sigue, hacemos un ejercicio de síntesis, en el que contrastamos de manera global los dos casos, en cuanto al CDC tanto en acción como declarativo, así como acerca de sus referentes sobre la Biotecnología.

De esta manera, en el desarrollo de este capítulo, partimos de ciertas particularidades detectadas en nuestro análisis interpretativo, las cuales intentamos soportar a través de diferentes autores, buscando no solo contrastar ambos casos, sino además, destacar las relaciones que, desde nuestra interpretación, están potenciando o limitando la enseñanza de la Biotecnología, presentando al mismo tiempo explicaciones o cuestionamientos frente a ello, así como posibles implicaciones en la enseñanza de la Biotecnología en la escuela.

Así, a continuación, desglosamos cuatro relaciones, que tienen que ver con los referentes sobre la Naturaleza de la Biotecnología, los saberes existenciales, el conocimiento sobre el contexto y el conocimiento sobre los estudiantes y los procesos de enseñanza de la Biotecnología de los profesores estudiados. En este sentido, cabe señalar que, si bien tratamos de desglosar cada relación de manera individual, los hallazgos presentados no son del todo excluyentes.

#### **4.6.1 Referentes sobre la Naturaleza de la Biotecnología y su relación con la enseñanza**

El análisis de las clases observadas y de los instrumentos ReCo (Anexo 1) y Conocimiento sobre la Biotecnología (Anexo 2), nos permite establecer que los referentes que los profesores estudiados poseen respecto a la Naturaleza de la Biotecnología desempeñan un papel importante en sus procesos de enseñanza, particularmente en su CDC de la Biotecnología.

De acuerdo con los resultados arrojados por nuestro análisis, al interior de este apartado nos referiremos principalmente a relaciones entre los referentes sobre la epistemología de la Biotecnología de los profesores, pero, también, y en menor medida a referentes sobre los aspectos históricos y sociológicos de la Naturaleza de la Biotecnología.

Así, y como ya hemos señalado, ambos profesores dan cuenta de referentes asociados a la epistemología de la Biotecnología, los cuales, aunque presentan puntos de encuentro, también difieren de manera considerable, lo que nos lleva a establecer relaciones entre estos referentes y las semejanzas y diferencias en los componentes y estructuras del CDC (ver figuras 8, 12, 16 y 20) de Alejandra y Tomás.

En concordancia con lo anterior, podemos señalar que, a través de sus respuestas a los instrumentos, Tomás, expresa explícitamente que para él la Biotecnología es una tecnociencia, dando cuenta de manera clara y concreta de elementos de la epistemología de la Biotecnología que de acuerdo a algunos autores caracterizan una tecnociencia.

En este sentido, dentro de los elementos referenciados por Tomás y que también son referenciados en la literatura, podemos mencionar, la estrecha colaboración entre científicos, ingenieros y tecnólogos en el desarrollo de sus actividades (Acevedo, 2006b; Echeverría, 2010;

Tarazona, 2003); la necesidad de una fundamentación científica que soporten las diversas acciones tecnológicas (Avalos, 1990), la investigación en torno a la generación de servicios y aplicaciones orientadas hacia la rentabilidad comercial (Echeverría, 2003) y con expectativas de generar innovación (Echeverría, 2010), así como la producción de conocimiento de carácter interdisciplinar en el que interactúan y convergen varias disciplinas (Muñoz, 2001), entre las que el profesor Tomás menciona la tecnología, la Biología Molecular, la Microbiología, la Química y la Bioquímica; así como todo un sistema de interacciones con distintos sectores de la sociedad (económicas, políticas, éticas, ambientalistas, entre otras) que traen consigo polémicas y debates científico tecnológicos a la sociedad (Cabo et al., 2005; Hanegan y Bigler, 2009), relacionados con asuntos como la modificación genética de organismos unicelulares, el diagnóstico genético, la biorremediación, la clonación de células o tejidos con fines terapéuticos, los experimentos con animales y la clonación de éstos para obtener sustancias terapéuticas y, la modificación genética de plantas para incrementar su resistencia a plagas y mejorar sus propiedades, entre otros (Acevedo, 2006a).

De otra parte, la interpretación que hacemos de la profesora Alejandra, también nos lleva a señalar en ella una postura crítica respecto a la Biotecnología, que, es más evidente en las clases observadas, que, en sus respuestas a los instrumentos, en las que notamos distintos aspectos de la epistemología de la Biotecnología, que no siempre se relacionan con una perspectiva sociocientífica, pero tampoco con unas perspectivas únicamente tecnológica o únicamente técnica de la Biotecnología.

En este sentido, podemos señalar que, durante la entrevista semiestructurada acerca del Conocimiento sobre la Biotecnología, Alejandra sostiene que la Biotecnología es una ciencia, caracterizada por tener un conocimiento propio y un desarrollo histórico particular, cuyas leyes y postulados no aparecen en la literatura porque los académicos no se han dedicado a establecerlas, sino a hacer investigaciones, de lo que podemos interpretar que para Alejandra la Biotecnología se encuentra en un proceso de configuración como ciencia.

Para Alejandra, además, la Biotecnología tiene un carácter fuertemente interdisciplinar, reflejado en las relaciones que establece con la tecnología y otras ciencias como la Biología, la Química y la Bioquímica, cuyos conocimientos le son necesarios para comprender los procesos biológicos implicados en la obtención de los productos biotecnológicos.

En sus declaraciones, la profesora analiza además la finalidad de la Biotecnología desde un punto de vista crítico, al cuestionar a los investigadores, en términos de su moralidad y su ética, y también, la regulación con la que se incorporan las aplicaciones biotecnológicas al mercado, contenidos que señala enseñar a los estudiantes y que nosotros consideramos incorporan cuestiones sociocientíficas (España y Prieto, 2010) asociadas a la Biotecnología, en tanto se

refiere a la manipulación genética de seres vivos y las investigaciones de la multinacional Monsanto.

Este breve recuento nos lleva a establecer relaciones entre los referentes sobre la Naturaleza de la Biotecnología y la enseñanza de la misma por parte de los profesores estudiados que presentamos a continuación.

La primera relación que encontramos entonces, se da *entre los contenidos de enseñanza y los referentes acerca de la Naturaleza de la Biotecnología de Tomás y Alejandra*.

Así, podemos señalar que los contenidos contemplados por Tomás tanto en su práctica, como desde sus declaraciones, incorporan contenidos conceptuales propios de ciencias como la Biología y la Bioquímica, así como contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, en tanto aspectos epistemológicos, históricos y sociológicos, relacionados por ejemplo con el objeto, la historia, la finalidad y la clasificación de la Biotecnología (clasificación de la Biotecnología por colores), pero también con los procesos productivos biotecnológicos (entre ellos la fermentación, la obtención de cultivos *in vitro* y los bioproductos asociados a una biorrefinería), su representación y sus implicaciones, en cuanto a beneficios, ventajas y desventajas, así como a los intereses económicos y políticos inmersos. De igual manera, podemos mencionar la incorporación de contenidos procedimentales y actitudinales, cuyo abordaje, realiza de una manera integrada, junto a los contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología y, orientado a la problematización de las implicaciones éticas, económicas y políticas de la Biotecnología, con lo cual deja en evidencia algunas cuestiones sociocientíficas y sociotecnológicas (Acevedo, 1996) que subyacen al progreso biotecnológico y además, pretende enseñar a los estudiantes a tomar decisiones argumentadas en relación con la Biotecnología, propósito que expresa tácitamente, tanto en el transcurso de sus clases, como en sus respuestas a las entrevistas semiestructuradas.

De manera adicional, mencionamos, que en sus respuestas al instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología Tomás expresó que a través de la Biotecnología se ejercen relaciones de biopoder, entre las que hizo referencia a las semillas transgénicas vendidas por la multinacional Monsanto y los mecanismos de validación de la Biotecnología. En este sentido, Tomás señaló que en la Biotecnología hay unos niveles de conocimiento, un primer nivel que es el de la investigación básica, validado por la comunidad científica y otro nivel en el que participa la industria, por lo que surge un biopoder, lo que lo lleva a cuestionar la venta de servicios realizada por instituciones como Corpoica y Corpogen. Así, y desde nuestra interpretación, para Tomás, el biopoder hace parte de los elementos característicos de la Biotecnología, dado que, la investigación biotecnológica, incorpora no solo el uso de lo vivo, sino también intereses que llevan a que haya una dominación por parte del sector industrial - esto a partir de la búsqueda de la aceptación por parte de la población en general de los beneficios de la Biotecnología, que

conlleva a su incorporación en los sectores productivos del país como agente impulsor de su desarrollo-, referentes, que desde lo que declara, intenta enseñar a sus estudiantes, pero que no notamos en la franja de su práctica docente observada.

De otra parte, cabe señalar también, que desde su autonomía en el desarrollo de las dos cátedras observadas, Alejandra abordó contenidos de enseñanza relacionados con la historia y la epistemología de la Biotecnología, en una de las clases desde una perspectiva sociocrítica, contemplando aspectos asociados al desarrollo histórico del conocimiento biotecnológico, mientras que en la otra clase desde una perspectiva tecnológica, desde la cual se aprecia una transmisión de información acerca de hechos y acontecimientos, de manera lineal y descontextualizada, sin problematización ni cuestionamiento en relación con el desarrollo de la Biotecnología. En el transcurso de sus clases Alejandra también incorporó contenidos conceptuales propios de ciencias como la Biología y la Bioquímica, relacionados con la fermentación, buscando presentar de manera integrada distintos conocimientos originados en estudios científicos, y desde allí, posibilitar la comprensión de ciertos procesos biotecnológicos; así como contenidos procedimentales desarrollados principalmente en las prácticas de laboratorio sobre tipos de fermentación, a las cuales nos referiremos más adelante.

En este sentido también es importante señalar que cuando Alejandra abordó la clasificación de la Biotecnología por colores, no hizo referencia explícita a la mediación o intervención de seres vivos en los procesos mencionados, ni tampoco explicitó relaciones entre el conocimiento biotecnológico y la comercialización de productos y servicios, razón por la cual, asociamos estos contenidos a una complejidad intermedia o una perspectiva tecnológica de la producción biotecnológica (ver figura 7). En contraste, cuando se refirió a los biocombustibles, lo hizo desde una perspectiva socio crítica, en la medida que presentó a los estudiantes, problemáticas de relevancia social y económica, buscando que ellos tomaran conciencia de los beneficios y problemas inherentes al desarrollo de la Biotecnología, y fueran capaces de tomar decisiones. De igual manera, Alejandra abordó la comparación entre el *fracking* y la biorremediación, desde una perspectiva socio crítica, buscando la reflexión de los estudiantes en cuanto a las ventajas y desventajas de ambos procesos.

Cabe señalar además que, en las respuestas a las entrevistas semiestructuradas, al interior de la Biotecnología, Alejandra no solo tiene en cuenta el conocimiento científico o tecnológico, sino también los conocimientos culturales tradicionales, refiriéndose a prácticas relacionadas con lo vivo, que para ella pueden ser catalogadas como biotecnológicas, a pesar que no haya mediación de seres vivos en la obtención de productos útiles.

La situación anterior nos deja ver que, los contenidos que Alejandra enseña a sus estudiantes transitan por los tres niveles de complejidad de la Hipótesis de Progresión planteada (Tabla 7), es decir tanto por una perspectiva técnica de la Biotecnología, como por unas perspectivas

tecnológica y sociocrítica de la producción biotecnológica, lo que presenta una correspondencia con sus referentes epistemológicos de la Biotecnología, los cuales también transitan por diferentes posturas, en las que Alejandra atribuye a la Biotecnología características de ciencia, como la capacidad de ofrecer explicaciones (Nuñez, 1999), pero también de tecnociencia, entre ellas unos intereses concretos, así como unos objetivos y valores propios relacionados con la producción comercial (Coca y Pintos, 2006).

En tanto que, desde nuestra interpretación, a diferencia de Alejandra los contenidos de enseñanza del profesor Tomás están estructurados desde lo que en nuestra Hipótesis de Progresión (Tabla 7) corresponde a un nivel alternativo, dado que tienen que ver con una perspectiva sociocrítica de la producción biotecnológica. Lo anterior nos permite evidenciar que las relaciones que éste componente establece con los demás y que representamos en los respectivos mapas de CDC en acción consolidado (Figura 16) y de CDC declarativo (Figura 20), en varios casos, y como ya hemos abordado, presentan una complejidad promedio de referencia, siendo esto cierto, principalmente para su CDC declarativo.

Cabe señalar así, y de acuerdo con Alonso et al. (2007), que tanto Tomás como Alejandra incorporan como contenidos curriculares “relaciones complejas y problemáticas de la comunidad tecnocientífica, incluyendo las controversias y ciertos conceptos epistemológicos que se derivan de ellas” (p. 351), encaminados además, a la reflexión y toma de decisiones respecto a cuestiones de la vida real relacionadas con la ciencia y la tecnología (Acevedo, 2004; Furió et al., 2001) por parte de sus estudiantes.

No obstante, a pesar que estos contenidos son comunes en ambos casos, son más frecuentes en las clases de Tomás y, en ambos casos son complejizados, a nivel declarativo. En el caso de Alejandra a través de la inclusión tanto de cuestionamientos desde la moralidad y la ética, como de contenidos culturales, y en el caso de Tomás, a través de la inclusión de discursos asociados al biopoder ejercido por la Biotecnología.

De acuerdo con Moreno (2006) reconocer que la ciencia es una manifestación más de la cultura de los pueblos, y que el “conocer”, en cuanto actividad social, está unido a las condiciones sociales de los individuos que lo llevan a cabo, es un recurso del profesorado para afrontar la mejora del interés por la ciencia y despertar el espíritu crítico ante los hechos en que la ciencia se relaciona con el medio social y cultural, con lo que, desde nuestra interpretación de las declaraciones de Alejandra, al incorporar contenidos asociados a saberes ancestrales y culturales, la profesora puede complejizar la enseñanza de la Biotecnología, atendiendo al mismo tiempo a los requerimientos cada vez más imperantes acerca del abordaje de la multiculturalidad en la enseñanza de las ciencias (Rañada, 1996).

De otra parte, y de acuerdo con Díaz (2011), el surgimiento de la nueva manera de entender la vida, que tiene lugar a partir de los ensayos biotecnológicos que logran manipular la estructura intrínseca del ser vivo, no sólo ha producido un nuevo discurso sobre la vida y una nueva conformación subjetiva, sino que además ha gestado una mutación de la forma de expresión de biopoder, tal y como la concibió Foucault; de manera que ahora, el poder ejercido sobre la vida genera nuevos elementos y gesta nuevas prácticas y nuevos regímenes de dominación que permiten maximizar y economizar el funcionamiento del poder. En este sentido, el biopoder ya no se materializa solamente en instituciones y discursos ejercidos sobre la vida; los vertiginosos adelantos tecnológicos han posibilitado la emergencia de un *biotecnopoder*, que produce a escalas industriales nuevas formas de vida y modifica radicalmente los cuerpos y las subjetividades de las poblaciones (Melera, 2010).

En este orden de ideas, consideramos que la discusión que Tomás realiza en sus declaraciones respecto al biopoder ejercido por las empresas biotecnológicas, puede aportar a la enseñanza de contenidos sociológicos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, a través de la contextualización de la amplia red de relaciones entre la producción tecnocientífica y otros sectores de la sociedad, incluidas allí las influencias filosóficas e ideológicas (políticas, científicas, religiosas, económicas...) que pueden estar incorporadas en la actividad tecnocientífica de la Biotecnología. Esta contextualización posibilitaría una relación con el conocimiento biotecnológico, más allá de los conceptos y las teorías, hasta la construcción de explicaciones significativas desde el análisis de las relaciones ciencia, tecnología, sociedad, y con ello, la inclusión en el currículo, de la discusión acerca de las implicaciones de la manipulación de lo vivo y su posterior comercialización, discursos que no suelen ser visibles en la escuela y que sin embargo hacen parte de la Naturaleza de la Biotecnología.

No obstante, cabe señalar que para el profesor el objeto de la Biotecnología está asociado a la producción, lo que conlleva a que su práctica educativa esté orientada hacia la producción, y que se centre en la posibilidad de que los estudiantes desarrollen un pensamiento innovador y puedan plantear ideas de negocio de proyectos productivos, lo que, desde nuestra interpretación pone en evidencia una tensión entre la crítica que hace a la Biotecnología respecto al biopoder que puede surgir de la producción biotecnológica y los propósitos de su enseñanza, que de alguna manera legitiman la producción como objeto de la Biotecnología.

El panorama anterior, nos permite señalar, que tanto en los procesos de enseñanza de Tomás como de Alejandra son evidentes referentes acerca de la Naturaleza de la Biotecnología, que tienen relación con la selección y secuenciación de los contenidos de enseñanza, lo que coincide con las descripciones de Ball et al., (2008) para quienes las orientaciones específicas de los profesores respecto a la Naturaleza de la Ciencia, hacen parte de su conocimiento disciplinar e influyen significativamente los actos educativos desarrollados en el aula.

Así, en ambos casos el conocimiento científico se relaciona con la Biotecnología a través de conceptos y teorías que dan cuenta de fenómenos asociados a los seres vivos que participan en la producción biotecnológica; sin embargo, notamos que para el profesor Tomás es claro que la Biotecnología es una tecnociencia, en la que los conocimientos científico y tecnológico se superponen en una investigación biotecnológica encaminada a la obtención industrial de aplicaciones y productos con rentabilidad comercial, perspectiva desde la que aborda sus contenidos de enseñanza, haciendo énfasis en la construcción de los conceptos Biotecnología y producto/proceso biotecnológico y, que lo lleva a presentar además cuestiones controvertidas relacionadas con la Biotecnología, en la espera de que los estudiantes puedan tomar decisiones informadas al respecto.

Para Alejandra en cambio, la Biotecnología es una ciencia que se encuentra en proceso de maduración, cuyo funcionamiento es interdisciplinar y su objeto no siempre incorpora la producción con intereses económicos; carácter productivo, que, sin embargo, puede tener, generando así, situaciones controvertidas en relación con la finalidad de la producción biotecnológica. En este sentido, cabe mencionar que además de hacer énfasis en el componente científico de procesos biotecnológicos (como en el caso de la fermentación), Alejandra también abordó contenidos de enseñanza relacionados con cuestiones controvertidas asociadas con asuntos económicos y políticos derivados de la producción de los biocombustibles y, declaró abordar aspectos morales y éticos, relacionados con la investigación biotecnológica asociada a la manipulación genética. De igual manera Alejandra declaró incorporar conocimientos culturales en sus prácticas de enseñanza, no siempre relacionados con una definición clara del objeto de la Biotecnología; de lo que deriva que en ocasiones los contenidos de enseñanza no mantengan una relación estrecha con la Biotecnología, y de allí, que los estudiantes no siempre den cuenta de una claridad epistemológica respecto a lo que es la Biotecnología.

Todo lo anterior nos permite notar correspondencias entre lo que sobre la Naturaleza de la Biotecnología declaran y hacen los profesores en las clases que observamos y sistematizamos, sin embargo, también encontramos diferencias que nos llaman la atención, y nos llevan a plantear ciertas preguntas, entre ellas: ¿cuál es la razón por la que los datos no nos permiten brindar explicaciones a la baja correspondencia entre lo que Alejandra declara respecto al desarrollo de la epistemología de la Biotecnología y sus clases sobre historia de la Biotecnología?

En este sentido, cabe recordar que, en la segunda de las clases al respecto, los hechos históricos fueron presentados a través de las exposiciones de las líneas del tiempo a manera de descripciones de tipo cronológico, lineal y secuencial de su desarrollo. Posición que de acuerdo con Cabrera y García (2015), si bien ubica espacio-temporalmente logros y hazañas de descubrimientos científicos a los estudiantes, no les permite conocer los procesos de organización y experimentación que realizaron los científicos ni los contextos sociales en los que



se realizaron, con lo que tampoco se abordan las preocupaciones e intereses que han movido el conocimiento científico a lo largo de su desarrollo. En este sentido, también nos preguntamos la razón por la que durante sus declaraciones Alejandra es mucho más enfática en señalar que incorpora el cuestionamiento a la finalidad de la Biotecnología, así como polémicas y situaciones controvertidas en sus contenidos de enseñanza, en tanto que, solamente en dos de las doce clases sistematizadas, logramos identificar una postura crítica frente a la Biotecnología.

De igual manera nos preguntamos, acerca de las razones por las que, a pesar que Tomás dedica cuatro de las seis clases sistematizadas a la estructura del ADN y su relación con la Biología molecular, y de allí con la Biotecnología, en ninguna de ellas presenta a los estudiantes dilemas asociados al biopoder ejercido por la Biotecnología a través de la producción derivada de la manipulación de lo vivo, a los cuales hace alusión reiterativamente durante la entrevista acerca del Conocimiento sobre la Biotecnología; lo que al igual que en el caso de la profesora Alejandra, nos lleva a cuestionarnos también las razones por las que en su práctica docente no siempre se reflejan sus posturas críticas frente a la Biotecnología enunciadas en el nivel declarativo.

De lo anterior señalamos que los cuestionamientos que acabamos de presentar podrían ser abordados por los profesores, en aras de llevar a cabo una reflexión que conlleve modificaciones en su práctica docente.

De otra parte, pero dentro del mismo orden de ideas, nos permitimos señalar que, desde nuestra interpretación, *los referentes sobre la Naturaleza de la Biotecnología de los profesores también se relacionan con sus propósitos y estrategias de enseñanza.*

Es así como, consideramos que la perspectiva sociocrítica de la Biotecnología que Tomás sostiene también se ve reflejada en las estrategias de enseñanza que utiliza, dentro de las cuales destacamos el desarrollo de visitas a instituciones relacionadas con la investigación biotecnológica como alternativa a la realización de prácticas de laboratorio y la modelización.

De esta manera, y a través de lo que logramos observar en las clases sistematizadas, y de acuerdo al nivel alternativo de nuestra Hipótesis de Progresión (Tabla 7), el empleo que Tomás hizo de la visita realizada al centro de investigación Corpoica, le permitió integrar contenidos de enseñanza de origen científico, cotidiano y contextual, a través de la interacción no sólo con él, sino también con profesionales y espacios del sector productivo de la Biotecnología. La reflexión en clase que Tomás hizo acerca de la visita posibilitó una mejor comprensión del objeto y finalidad de la Biotecnología y al mismo tiempo incentivar en los estudiantes el interés por la ciencia y la tecnociencia, así como contextualizar las relaciones sociales de la Biotecnología, entre ellas las económicas, derivadas de la producción biotecnológica y las asociadas al desarrollo científico-tecnológico del sector agropecuario. Con lo que, de acuerdo con Esteban (2003) la realización de

esta visita permitió abordar temas científicos de relevancia social y económica, teniendo en cuenta como aspectos principales, la observación e interpretación de información y la capacidad de toma de decisiones.

Esta interpretación se relaciona con la que hacemos de otras de las respuestas de Tomás a los instrumentos, en las que a manera de reflexión se refiere a los propósitos de su enseñanza, señalando claramente que, desde su punto de vista, la enseñanza de la Biotecnología es un pretexto para lograr desarrollos en los estudiantes, entre ellos el aprendizaje de contenidos actitudinales, como la actitud frente al conocimiento y a situaciones de la vida cotidiana que implican la Biotecnología, y de capacidades investigativas, lo que claramente, es coherente con la alfabetización tecnocientífica a la que se refiere en sus respuestas al instrumento ReCo y que dan lugar a varias relaciones entre los componentes de su CDC declarativo con complejidad de referencia (Figura 20).

En este sentido cabe resaltar la reflexión que en el transcurso de sus respuestas al ReCo realiza Tomás, en la que reconoce que su propósito como profesor de Biotecnología de estudiantes de jornada nocturna no es formar biotecnólogos, con lo que, desde nuestra interpretación, en Tomás subyace el propósito de enseñar a sus estudiantes sobre la Biotecnología, desde el reconocimiento de una Biotecnología escolar con una epistemología propia y diferente a la epistemología que hace parte de la Biotecnología como tecnociencia.

En el caso de Alejandra, cabe señalar que, entre sus estrategias de enseñanza utilizó las prácticas de laboratorio, las que también referenció en sus respuestas al ReCo. Recordemos entonces que durante las clases 6 y 7, Alejandra desarrolló una práctica de laboratorio sobre clases de fermentación, la cual se llevó a cabo siguiendo el protocolo descrito en la guía a través de las instrucciones de la profesora, las cuales fueron verificadas por medio de preguntas de tipo gerencial. Durante estas clases Alejandra también realizó un repaso, con el que la fundamentación conceptual se dio en un plano de transmisión de información previamente comunicada y solicitando a los estudiantes que tomaran fotografías e hicieran anotaciones acerca de sus observaciones.

A partir de lo anterior interpretamos que, en el transcurso de la práctica de laboratorio Alejandra no propició el establecimiento de relaciones entre la mediación de seres vivos y los procesos fermentativos, ni entre estos y los procesos biotecnológicos, lo que nos lleva a cuestionarnos por el propósito que orientó esta práctica de laboratorio y de allí, por la razón por la que Alejandra destinó dos clases al trabajo experimental acerca de las clases de fermentación, pero no profundizó en contenidos asociados a aspectos epistemológicos de la Naturaleza de la Biotecnología.

En este sentido, cabe señalar, que la revisión de las respuestas de Alejandra al ReCo, nos permite notar que la profesora se refiere a las prácticas de laboratorio como una de las estrategias que considera fundamentales en los procesos de enseñanza de la Biotecnología, expresando que al igual que en la enseñanza de ciencias como la Química y la Biología, la práctica en la enseñanza de la Biotecnología le parece importante, porque, además de permitirle abordar contenidos de enseñanza posibilita que el estudiante tome fotos, revise y de explicaciones respecto a las observaciones y los resultados obtenidos, es decir que desarrolle sus habilidades y competencias procedimentales.

De lo anterior podemos notar que en sus respuestas Alejandra reitera la Ciencia como estatus epistemológico de la Biotecnología, con lo que asume que las prácticas de laboratorio, son necesarias en la enseñanza de la Biotecnología, al igual que en la enseñanza de otras Ciencias.

Sin embargo, desde nuestra interpretación planteamos que en las prácticas de laboratorio orientadas por Alejandra subyace una epistemología de la ciencia, desde la cual, la práctica sirve a la teoría científica a través de actividades verificativas (Kirschner, 1992), por lo que, y de acuerdo con Caamaño (2004), el desarrollo de trabajos prácticos constituye un medio para adquirir habilidades en la manipulación de aparatos, aprender determinadas técnicas, e ilustrar o comprobar experimentalmente hechos y leyes científicas; que en el caso de Alejandra corresponden a datos y hechos biológicos y químicos acerca de los tipos de fermentación. Perspectiva asociada además a la enseñanza de la objetividad y neutralidad conceptual de la práctica científica (Kirschner, 1992); que no permite aprender sobre la producción y evolución del conocimiento científico ni a reflexionar sobre las implicaciones de los procedimientos de la ciencia en contextos próximos a la cotidianidad de los estudiantes (Cabrera y García, 2015).

Frente a las prácticas de laboratorio, cabe señalar, de acuerdo a sus respuestas al ReCo, que, para Tomás, éstas estrategias también son importantes en los procesos de enseñanza de la Biotecnología, por lo que, dadas las limitaciones que dice tener en el colegio, Tomás ha planteado como estrategia de enseñanza, la realización de visitas y salidas pedagógicas, con las cuales aproximar a los estudiantes al contexto de la investigación biotecnológica.

Lo anterior nos permite señalar, como característica de la enseñanza de la Biotecnología en la escuela, la importancia que para los profesores cobra la realización de prácticas de laboratorio, las cuales, como acabamos de evidenciar, mantienen una relación estrecha con los referentes epistemológicos de la Biotecnología de los profesores, de lo cual derivan diferencias entre los propósitos y contenidos de enseñanza abordados a través de ellas.

En cuanto a la modelización como estrategia de enseñanza, empleada por el profesor Tomás, resaltamos que las exposiciones de los modelos sobre el ADN que realizaron los estudiantes bajo

su acompañamiento, le permitieron dar cuenta de la interdisciplinariedad de la Biotecnología, al hacer un llamado respecto a la relación entre los contenidos de la Biología molecular que estaban aprendiendo y los procesos y aplicaciones de la Biotecnología, entre ellas la obtención de productos a través de la manipulación genética. Adicionalmente señalamos, desde nuestra interpretación, que para Tomás la función de la modelización radicó en la aproximación de los estudiantes a las características de los modelos científicos, entre ellas su estructura y su función como mecanismo de producción de conocimiento científico.

Lo anterior coincide con lo que Pozo y Gómez (1998) señalan respecto a la estrategia de enseñanza por explicación y contrastación de modelos, acerca de las posibilidades que brinda a los estudiantes la construcción de sus propios modelos. En este sentido, los autores plantean que el estudiante no tiene por qué seguir los pasos que siguieron los científicos, ni llegar al conocimiento por la misma vía en que en su momento se elaboró, sino que deben reconstruir e integrar los valores, los métodos y los sistemas conceptuales producidos por la ciencia con la ayuda de su profesor, quien mediante sus explicaciones, debe ayudar al estudiante a construir sus propios modelos, pero también a interrogarlos y redescubrirlos a partir de los elaborados por otros, ya sean sus propios compañeros o científicos eminentes.

Respecto a las demás estrategias de enseñanza empleadas por Alejandra señalamos que, tanto en las clases que sistematizamos, como en el nivel declarativo, predominan los recursos virtuales, entre ellos la creación de grupos de Facebook y, el uso de páginas web, videos de Youtube, diapositivas y animaciones de PowToon.

De los anteriores recursos, resaltamos las diapositivas de Power Point con las cuales Alejandra abordó la conceptualización acerca de los biocombustibles. Durante su exposición Alejandra introdujo los contenidos de enseñanza relacionados a cada dispositiva, y al mismo tiempo presentó su interpretación, así como ejemplos y ejercicios de comparación y contextualización con los cuales amplió ideas que consideró importantes. Así, señaló la existencia de problemáticas relacionadas con los monocultivos destinados a la obtención de caña de azúcar para la producción de biocombustibles, con lo que involucró la economía, la industria de la caña de azúcar y la inequidad generada a través de dichos procesos industriales. Adicionalmente planteó a los estudiantes la importancia de comprender el impacto ambiental de los biocombustibles y a partir de allí decidir si son realmente buenos.

Lo anterior nos permite señalar que la exposición que Alejandra realizó se enmarca en una perspectiva sociocrítica de la Biotecnología, a través de la cual, buscó trascender la enseñanza de conocimientos científicos para presentar algunos valores contextuales, como el utilitarismo, los beneficios económicos y la inequidad, considerados constitutivos de las actuales y complejas

relaciones que existen entre la ciencia, la tecnología y la sociedad y de allí, influir los procesos de los estudiantes de toma de decisiones al respecto (España y Prieto, 2010).

En este orden de ideas, señalamos, que los referentes sobre la Naturaleza de la Biotecnología, influyen la naturaleza del conocimiento escolar de la Biotecnología, que en ambos casos trasciende la enseñanza *de la* Biotecnología, hasta una enseñanza *sobre la* Biotecnología. Lo que, aunque no es expresado tácitamente por Alejandra, Tomás resume cuando identifica que está seguro que ninguno de sus estudiantes va a ser biotecnólogo, de forma que lo que busca es que ellos puedan identificar las ventajas y desventajas de la incorporación de procesos biotecnológicos que hacen parte de sus realidades.

Finalmente podemos señalar que, llevar aspectos de la Naturaleza de la Biotecnología tanto de manera explícita como de manera implícita a las aulas de clase, moviliza la práctica de los profesores, quienes no se están centrando en conceptos y procedimientos, sino que también están incorporando reflexiones sobre la Biotecnología, en cuanto a sus relaciones con la sociedad, en términos de soluciones a problemáticas, como de los riesgos que puede representar, así como de cuestionamientos frente a los intereses económicos y políticos, y las implicaciones morales y éticas, involucrados en la actividad biotecnológica.

#### **4.6.2 Saberes existenciales que influyen la enseñanza de la Biotecnología**

El análisis de los resultados de la investigación que hemos presentado hasta el momento nos lleva a considerar la postura de Tardif (2004) respecto a las categorías del saber profesional docente, y en este sentido, retomar lo que el autor denomina saberes existenciales, en aras de relacionar dichos saberes y los procesos de enseñanza de la Biotecnología de los profesores Tomás y Alejandra.

Así, si según el autor, al interior de los saberes docentes, existe una amalgama más o menos coherente de *saberes procedentes de la formación profesional, disciplinarios, curriculares y existenciales* (p. 29) y, además, entendemos que los saberes existenciales de los maestros, son saberes de ellos, relacionados con sus personas y sus identidades, con su historia de vida y su historia profesional y, *“que brotan de la experiencia, que al mismo tiempo se encarga de validarlos”* (p. 30), podemos también considerar que estos saberes no solo tienen parte de su origen en el ámbito de la práctica docente, sino que a su vez la influyen y modifican, por lo que, a partir de los datos de ésta investigación, planteamos que los saberes existenciales de los profesores estudiados influyen su CDC y de allí las prácticas de enseñanza de la Biotecnología.

A continuación, describimos las características, que de acuerdo con Tardif (2004) tienen los saberes existenciales, como constituyentes de los saberes profesionales de los docentes, para luego pasar a describir nuestros hallazgos respecto a las relaciones que establecen los saberes existenciales de los profesores Tomás y Alejandra con la enseñanza de la Biotecnología.

De esta manera, señalamos que el saber existencial es un saber acumulado en términos de experiencia vital, no solo intelectual, sino también emocional, afectiva, personal e interpersonal, que es *heterogéneo*, pues moviliza diferentes conocimientos y formas de saber hacer, adquiridos a partir de diversas fuentes, en lugares variados y en momentos diferentes; *personalizado*, ya que está impregnado de la personalidad del maestro, al mismo tiempo que modela su identidad como docente; *evolutivo y dinámico*, pues se transforma y construye en el ámbito de la trayectoria profesional, posibilitando procedimientos en función de los contextos variables y contingentes de la práctica docente, y *social y construido por el actor*, en tanto interactúa con diversas fuentes sociales de conocimientos y se remodela en función de los cambios en la práctica (Tardif, 2004).

Atendiendo a lo anterior, en lo que sigue haremos referencia a diferentes aspectos de los saberes existenciales de los profesores estudiados, entre ellos su formación académica, su trayectoria profesional, su personalidad y sus experiencias personales en relación con su incidencia en sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

En este sentido, en primera instancia señalamos que *la formación académica y las trayectorias profesionales de Alejandra y Tomás establecen relaciones con los componentes de su CDC*.

Es así como, desde nuestra interpretación, algunas de las estrategias de enseñanza a las que Tomás acude, como las visitas a centros de investigación e instituciones relacionados con la Biotecnología y, el uso de la cartilla orientada a la incorporación de la Biotecnología en la Educación Media publicada por el IBUN, tienen que ver con su trayectoria académica, en cuanto a la posibilidad que su asistencia a congresos relacionados con la enseñanza de las Ciencias Naturales, y la realización de diplomados sobre la enseñanza de la Biotecnología, le brinda, de establecer contactos, y de esta manera ser versátil en las actividades y estrategias que propone.

En este orden de ideas, y como él mismo nos cuenta en una de sus respuestas al instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología, la incorporación de contenidos de enseñanza como los relacionados con los procesos industriales, así como la vinculación de la biorrefinería a los proyectos escolares que Tomás propone como estrategia de enseñanza a sus estudiantes de ciclo 6, tienen una relación estrecha con un diplomado que Tomás hizo sobre la enseñanza de la Biotecnología, en el que tenía que presentar un proyecto:

“Por ejemplo esto de los procesos industriales fue de hace dos años y como producto de un diplomado que hice en Biotecnología donde tenía que presentar un proyecto y yo había leído sobre el tema de la biorrefinería, en España, México y me acerqué, entonces empecé a indagar y dije uy ésta es una buena estrategia para abordar con los estudiantes porque desde el concepto de biorrefinería yo puedo mostrar aplicaciones de la Biotecnología y como estábamos trabajando aisladamente con el tema de los residuos, entonces dije, perfecto, ahí podemos enganchar todo” (P2.P11).

De las respuestas a este instrumento también podemos decir que el gusto por la lectura relacionada con temas como la epistemología y la enseñanza de la Biotecnología, así como el seguimiento juicioso a los autores, que el profesor manifiesta, como podemos ver a continuación, lo han llevado a consolidar una perspectiva sociocrítica de la Biotecnología, y de allí a incorporar aspectos epistemológicos de la Naturaleza de la Biotecnología en sus contenidos de enseñanza:

“Pues gusto sí, gusto, me gusta leer y mirar de dónde surgen todos estos conocimientos y por qué, precisamente yo te he leído bastante, he leído a Robinson, hay muchas cosas que se han hecho desde aquí, buscando cuál realmente es la epistemología de la Biotecnología y si la Biotecnología es un campo, es un territorio de la Biología o no, desde dónde estamos hablando de la Biotecnología y el tema de la enseñanza, el tema de la didáctica que son los escenarios desde donde podemos hablar de la Biotecnología, pues todo eso me ha cuestionado a mí y me gusta, ¿sí?, y pues estoy indagando...” (P2.P12).

De igual manera, durante las respuestas al instrumento ReCo, Tomás, a manera de reflexión de su práctica, da cuenta de las razones por las que emplea la modelización como estrategia de enseñanza, refiriéndose a elementos de su trayectoria profesional, expresando que a través de su formación y experiencia como profesor de Biología de secundaria, ha notado que a través de la construcción de modelos de estructuras como la célula puede capturar los imaginarios que tienen los estudiantes frente a un concepto determinado.

En el caso de Alejandra, señalamos que ella también ha acudido a seminarios, congresos y diplomados, relacionados tanto con la enseñanza de la Biotecnología como con la socialización de experiencias y estrategias en la enseñanza de las Ciencias Naturales, entre las que destacan los trabajos experimentales y el uso de las TIC, así como estrategias encaminadas al desarrollo de competencias y habilidades de pensamiento científico. De lo que, desde nuestra interpretación, surge la variedad de estrategias de enseñanza empleadas y referenciadas por ella en sus respuestas al ReCo, entre ellas, el bagaje de documentos que trae a las clases, así como el amplio repertorio que hace de recursos TIC, al que ya nos hemos referido.

Sin embargo, cabe señalar que posiblemente Alejandra ha establecido menos contactos que el profesor Tomás, de lo cual, no ha tenido la posibilidad de asistir con sus estudiantes a distintos espacios de investigación biotecnológica. En este sentido, queremos recalcar que el discurso de Alejandra no se caracteriza por una reflexión explícita en cuanto a las razones que la llevan a tomar decisiones frente a su práctica y la estructuración de su currículo, lo que hace que no tengamos la suficiente confianza frente a lo que interpretamos.

No obstante, de lo anterior hacemos un llamado de atención, en cuanto la importancia que para la enseñanza de la Biotecnología reviste el hecho de establecer acciones conjuntas con entidades e instituciones encaminadas a ampliar los escenarios de enseñanza, al posibilitar por ejemplo las visitas a centros de investigación y/o de producción biotecnológica, que permitan a los estudiantes reconocer las características de los laboratorios de investigación y las finalidades de la Biotecnología, entre otras.

En este sentido reconocemos la trascendencia de los diplomados y programas de capacitación llevados a cabo por los grupos Biosec y Bio-Educación del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN), en la formación de profesores del país preocupados por la enseñanza de la Biotecnología; así como de los PFPD (Programas de Formación Permanente de Docentes) desarrollados a través del trabajo conjunto entre la Secretaria de Educación de Bogotá (SED) y el grupo Biosec durante los años 2003 – 2008 y 2010 – 2013 en la formación continua de profesores, que en algunos casos han incorporado a sus currículos los lineamientos planteados en el modelo pedagógico para la enseñanza de la Biotecnología propuesto por el IBUN, a través del desarrollo de énfasis en Biotecnología en la Educación Media, como en el caso particular de los profesores Alejandra y Tomás.

Lo anterior, nos lleva de esta manera, a reiterar el llamado en cuanto la importancia de la formulación de políticas educativas distritales encaminadas a la formación de profesores para la enseñanza de la Biotecnología, que hacen Roa y Valbuena (2013), y también a plantear la necesidad de políticas educativas que conlleven a establecer acciones conjuntas con entidades e instituciones relacionadas con la Biotecnología, y que permitan el reconocimiento de espacios y características de la investigación biotecnológica.

Sin embargo, no podemos desconocer, que los ideales e intereses de los docentes, también hacen parte de los factores que influyen los criterios a partir de los cuales emiten juicios profesionales (Tardif, 2004), lo que, desde nuestra interpretación, se hace evidente en el profesor Tomás cuando manifiesta explícitamente en una de sus respuestas al instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología:



*“La tercera pregunta, cuándo enseña Biotecnología ¿cuáles son las dificultades y limitaciones que encuentra en su práctica como profesor? Bueno digamos que aquí uno tendría como varios escenarios, uno, es mi propia formación, que puede ser una limitante. La misma formación desde el punto de vista de que yo soy profesor de ciencias y he aprendido Biotecnología sobre la marcha; aunque cuando hice mi pregrado alcancé a hacer unas prácticas en la Nacional de tejidos in vitro, pero que ya depende de mi interés el de cultivarme en ésta área de la Biotecnología, el estudiar un poco más, el de leer para no quedarme así, eso me ha llevado, lo más reciente el diplomado en Biotecnología, y pues obviamente leyendo, los he leído también, he leído sobre las convenciones de biodiversidad...” (P2.P3).*

Otro aspecto importante que queremos resaltar corresponde a la trayectoria profesional (Tardif, 2004) de los profesores, con la que *“se adquieren saberes prácticos específicos de los lugares de trabajo, que se reactualizan y reutilizan en el trabajo en el aula”* (p. 53).

De esta manera, cabe señalar que, si bien, tanto Tomás como Alejandra tienen un perfil académico caracterizado por la continuidad en sus procesos formativos, Tomás además de trabajar en el colegio distrital en el que se desempeña en la jornada nocturna, también trabaja en varias universidades. Lo anterior, desde nuestra interpretación, le ha llevado a desenvolverse en ambientes en los que puede establecer relaciones profesionales que enriquecen su CDC y de allí, su práctica docente de la Biotecnología. Tal es el caso de la incorporación de distintos estudiantes universitarios a sus procesos de enseñanza, como en el caso de una ingeniera, que según él, le ha ayudado a desarrollar contenidos asociados al emprendimiento, entre ellos, el pensamiento innovador, o de los estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica a los que se refiere en sus respuestas al instrumento ReCo, y dice, le han colaborado en el abordaje de contenidos de enseñanza asociados a los procesos productivos de los que sus estudiantes deben dar cuenta en sus proyectos finales.

De nuestra sistematización, interpretamos también, que las estrategias de enseñanza empleadas por Tomás se aproximan a un estilo universitario, en tanto predomina una enseñanza expositiva, que incluye además la lectura de artículos de divulgación científica, talleres, salidas de campo, exposiciones por parte de los estudiantes y la presentación de un proyecto final, denominado por el profesor como proyecto integrador.

En cuanto a la trayectoria profesional de Tomás, cabe señalar, además, que en otra de sus repuestas al ReCo el profesor menciona que su experiencia en el trabajo con comunidades lo ha llevado a reconocer la necesidad de partir de los saberes y experiencias de los estudiantes jóvenes y adultos en el desarrollo de sus contenidos de enseñanza de la Biotecnología, lo que nosotros asociamos a las relaciones con complejidad de referencia que establece el componente conocimiento sobre los estudiantes de su CDC declarativo (ver figura 20).

De otra parte, interpretamos también, que en ambos casos las características personales de los profesores impactan sus procesos de enseñanza.

En este sentido, durante la retroalimentación que realizamos el 26 de abril de 2018, Alejandra expresa que en ella *“hay esa pelea entre lo personal y lo académico, pero que honestamente, ella pone la persona por encima de lo académico, así digan lo que digan”*, lo que junto a nuestra interpretación de las clases sistematizadas, nos permite manifestar que dadas las características de la personalidad de Alejandra, entre las que predomina un “instinto maternal”, derivado de un componente afectivo y emocional, que incide mucho en su práctica, la profesora se preocupa por todos sus estudiantes, pero de manera particular por dos de ellos, quienes son indisciplinados y desatentos. Lo anterior nos lleva a señalar que, dadas las características de la personalidad de Alejandra, ella se preocupa por una formación que va más allá del aprendizaje de contenidos de la Biotecnología y que trasciende a la formación integral de sus estudiantes.

Esa personalidad, influencia las acciones que desarrolla en el aula y que la caracterizan como docente, tal es el caso de los procesos de evaluación que realiza y los propósitos de enseñanza que plantea.

En este orden de ideas señalamos que, en varias de las clases que sistematizamos, Alejandra desarrolló ejercicios de autoevaluación y coevaluación, generalmente orientados a la evaluación de aspectos personales de los estudiantes o de las dinámicas de trabajo en grupo, así como al establecimiento de compromisos académicos. Lo anterior coincide con sus declaraciones en las respuestas al instrumento ReCo, en las que se refirió a una evaluación procesual, haciendo mención principalmente a una evaluación de contenidos actitudinales y de destrezas y habilidades de los estudiantes, así como de contenidos conceptuales, en la mayoría de los casos no tópicos específicos, en la que prevalece la evaluación de contenidos asociados a la formación integral de los estudiantes.

Adicionalmente, cabe mencionar la relación entre sus intereses y los contenidos de enseñanza. En este sentido, durante sus respuestas al ReCo, Alejandra hace referencia a un investigador que tiene un proyecto sobre agricultura orgánica para niños, lo que señala, a ella le parece interesante y la lleva a mencionar la importancia de enseñar agricultura orgánica a los niños, así como de compartir con la comunidad la Biotecnología aplicada a la agricultura, contenidos que nosotros asociamos a la Biotecnología tradicional.

En el caso del profesor Tomás, vale la pena señalar, que en una de sus respuestas al ReCo, expresa textualmente: *“en esto yo sueño también, yo quisiera hacer muchas cosas, pero yo estoy muy limitado, por tiempo, por la institución misma, por muchas condiciones, sin embargo yo me apasiono y creo que he contagiado con esa pasión porque los chinos me corren finalmente,*

entonces yo digo que tal vez es eso, como que ven que me encanta y que eso lo transmito, entonces ahí ha habido una comunicación interesante” (P2.P14), con lo que da cuenta de ciertas características de su personalidad, que, desde nuestra interpretación, influyen el planteamiento de sus estrategias de enseñanza, las cuales, le demandan tiempo y compromiso en su ejecución, pero conllevan a la motivación de sus estudiantes por el aprendizaje de la Biotecnología.

*En este apartado, también hacemos mención a la influencia de las experiencias personales en los componentes del CDC de los profesores. A este respecto, nos referimos a la experiencia que Alejandra menciona durante sus respuestas al instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología, en la que nos cuenta que un familiar cercano que padece una enfermedad degenerativa, ha sido tratado con un medicamento biotecnológico, lo que la lleva a señalar que, desde ese punto de vista, la Biotecnología es buena porque descubrió algo que en un momento determinado pudo mejorar la salud de su familiar. En su respuesta, sin embargo, Alejandra también cuestiona la responsabilidad de los investigadores, así como los límites y las finalidades de las investigaciones biotecnológicas, refiriéndose a las consecuencias de productos como los organismos genéticamente modificados, las cuales dice, debe mostrar a los estudiantes, y con ello, la responsabilidad de los seres humanos sobre las modificaciones que realiza la Biotecnología en la naturaleza. Así, podemos señalar que esta experiencia lleva a Alejandra a criticar la finalidad de la Biotecnología, y de allí, a plantear ciertos contenidos y propósitos de enseñanza.*

#### **4.6.3 El conocimiento sobre el contexto como potencializador de la enseñanza de la Biotecnología**

A través de la sistematización de las clases observadas y de los instrumentos aplicados encontramos de manera relevante que el conocimiento que sobre el contexto tienen los profesores estudiados incide en sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

Así y de acuerdo con Grossman (1990), en primera instancia haremos referencia al conocimiento de los profesores sobre un contexto específico, que incluye “*el conocimiento de los distritos en los que trabajan los docentes, incluidas las oportunidades, expectativas y limitaciones que plantean y el conocimiento de los entornos escolares, incluida la ‘cultura’ escolar, las pautas y otros factores contextuales a nivel escolar que afectan la enseñanza*” (p. 9).

Para pasar luego a referirnos a la incidencia del conocimiento sobre el contexto de la Biotecnología, el cual, de acuerdo con Dueñas (2019) entendemos para nuestro caso, como el conocimiento del profesor sobre un contexto que tiene que ver con situaciones o condiciones de

carácter social, económico, histórico, cultural, religioso, entre otros, acerca de la Biotecnología y que influye en su enseñanza.

Lo anterior nos permite señalar algunas condiciones del contexto institucional que, desde nuestra interpretación, afectan las prácticas de enseñanza de Tomás y Alejandra.

Así, por ejemplo, Tomás nos cuenta que el hecho que el laboratorio del colegio estuviera adaptado para la realización de cultivos *in vitro*, lo motivó a pensar en la articulación con la institución de Educación Superior SENA, la cual no fue posible, debido a que el laboratorio del colegio también estaba adecuado, para lo que en las jornadas mañana y tarde denominan agroindustria, lo que en últimas, lo llevo a reflexionar acerca de la realización de diversas prácticas de laboratorio y a hacer transformaciones didácticas, de las cuales han derivado alianzas interinstitucionales y de allí las salidas de campo que dan paso a la enseñanza de contenidos contextualizados en ambientes de investigación biotecnológica.

En cuanto a la influencia del contexto institucional en los contenidos de enseñanza, Tomás también hace varias reflexiones acerca de las transformaciones didácticas que ha venido realizando al respecto. En este orden de ideas señala que inicialmente realizó una propuesta de énfasis en Biotecnología para todos los cursos y niveles educativos en el colegio, que incorporaba, además, la transversalización de los contenidos, y por tanto la participación de profesores de asignaturas diferentes a las ciencias naturales (matemáticas, sociales, español, entre otras); propuesta que fue rechazada por sus compañeros de trabajo, quienes le manifestaron “no tener tiempo para eso”, por lo que, y a partir de la notificación de las directivas del colegio, decidió, desarrollar el énfasis en los ciclos 5 y 6, pertenecientes a la Educación Media, donde logró, abrir un espacio para el desarrollo de la asignatura de Biotecnología, que él mismo orienta y que hoy en día desarrolla a partir del diseño y planeación de unos módulos, organizados alrededor de 3 ejes: investigación, emprendimiento y calidad y ambiente.

Así, y respecto al segundo módulo, el profesor nos cuenta a manera de reflexión, que primero lo llamó Agroindustria y que ahora se llama Bioprocesos. Lo anterior dado que en las jornadas mañana y tarde hacían unas prácticas que también denominaban Agroindustria, pero que según él estaban muy focalizadas al tema de alimentos, en la medida que preparaban pan, yogurt y kumis, de lo que él mismo se cuestionó críticamente “¿y eso sí será Biotecnología?” y decidió llamarlo Bioprocesos, dado que aterriza más los contextos y era más abarcador y relacionable, con lo que, desde nuestra interpretación, son los elementos contextuales de la Biotecnología, los que le dan sentido a la enseñanza de los contenidos asociados al módulo de Bioprocesos.

Con lo anterior queremos señalar que, si bien el contexto escolar ha influenciado la estructura curricular diseñada por Tomás, sus reflexiones acerca de la enseñanza de contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, lo han llevado a hacer transformaciones didácticas

encaminadas a la estructuración de los contenidos de enseñanza orientadas a la contextualización de la Biotecnología en el país, de las que derivan varias de las relaciones con nivel de complejidad de referencia que encontramos tanto en el mapa de su CDC declarativo (Figura 20), como en el mapa de su CDC en acción (Figura 16), en tanto en su práctica, efectivamente se llevan a cabo la visita a Corpoica que Tomás refiere durante sus declaraciones al ReCo, en la que se hacen evidentes acciones encaminadas a permitir que los estudiantes conozcan espacios reales de investigación en Biotecnología, así como algunos de los proyectos desarrollados a través de técnicas de Biología molecular y de manipulación genética.

En el caso de la profesora Alejandra cabe mencionar que en el colegio en el que ella se desempeña, ha habido un acompañamiento constante de la construcción de la propuesta curricular del énfasis en Biotecnología por parte de la Universidad de la Salle, de lo que, en un trabajo conjunto con los profesores del área de Ciencias Naturales del colegio de las jornadas mañana y tarde, ha derivado un documento marco que orienta la profundización en Ciencias Naturales y que establece, entre otros lineamientos, que los estudiantes antes de graduarse deben presentar tanto a los profesores del énfasis como a sus compañeros de clase los resultados y las conclusiones de un proyecto de investigación escolar. Proyectos a los que Alejandra se refiere en una de sus respuestas al ReCo, señalando que posibilitan que los estudiantes vean la presencia de la Biotecnología en situaciones de su cotidianidad como el uso de la fermentación para hacer vino y otras bebidas alcohólicas empleando piña, yuca, arracacha o arroz.

No obstante, cabe señalar que a partir de la observación que tuvimos la oportunidad de realizar de algunas sesiones de sustentación de los proyectos de los estudiantes, pudimos notar que éstos no siempre estaban enmarcados dentro de lo que desde nuestra definición corresponde a la Biotecnología (Espinell y Valbuena, 2018), en cuanto, no hacían referencia a la mediación de seres vivos en la obtención de productos. Es así como encontramos la presentación de proyectos asociados a la obtención de esencias y aceites vegetales o al cultivo de moras y hortalizas en la huerta escolar, validados tanto por Alejandra, como por los demás docentes del énfasis en Biotecnología. Lo que nos permite cuestionarnos acerca de lo que los profesores y por ende los estudiantes del énfasis conciben sobre lo que es la Biotecnología, en aras de suscitar la reflexión al respecto.

De otra parte, también cabe señalar que en sus respuestas al ReCo, Alejandra hace referencia a propósitos de enseñanza estrechamente relacionados con los objetivos planteados en el proyecto marco del énfasis en Biotecnología del colegio, en relación con el ingreso a la educación superior y a la vinculación con la vida laboral. Es así como, la profesora plantea como propósitos, que los estudiantes puedan obtener un mejor puntaje en las evaluaciones requeridas para el ingreso a las universidades (examen Icfes), que los estudiantes accedan a carreras profesionales

relacionadas con la Biotecnología y que, a través de los proyectos de investigación, logren generar negocios productivos.

En este sentido, nos permitimos señalar que el contexto escolar en el que se desenvuelven los procesos de enseñanza de la Biotecnología de Alejandra, enmarcados en un programa institucional (derivado del programa EME) y en unos requerimientos de calidad institucional, conlleva a que ella plantee como propósito de la educación científica, lo que de acuerdo con Acevedo (2004), denominamos una finalidad propedéutica, en la medida que, según sus declaraciones, lo que persigue es enseñar a los estudiantes conceptos y aplicaciones fundamentales en sus estudios de educación superior.

No obstante, desde nuestras interpretaciones de la práctica de Alejandra, y de acuerdo con Furió et al., (2001), nos permitimos señalar también, que de manera implícita ella aborda como propósitos de su enseñanza la formación de ciudadanos capaces de relacionar los conceptos científicos con la comprensión de los dilemas éticos, sociales, económicos y políticos derivados de las aplicaciones de la Biotecnología.

En este mismo sentido, también podemos señalar que en varias de las clases que sistematizamos Alejandra hizo mención al propósito de enseñarle a los estudiantes a trabajar en grupo, propósito que aparece explícitamente tanto en el syllabus del seminario *Introducción a la Biotecnología* como en otros syllabus, en los que se manifiesta como parte de los objetivos, que los estudiantes alcancen el desarrollo de competencias específicas del área de Ciencias Naturales, entre ellas trabajar en equipo y reconocer la dimensión social del conocimiento.

Así mismo, podemos mencionar que durante sus clases Alejandra reiteró explícitamente que los estudiantes debían desarrollar cuatro habilidades comunicativas: saber leer, saber hablar, saber escribir, saber escuchar, habilidades que también aparecen enunciadas en el documento marco como parte de los objetivos del énfasis en Biotecnología.

De lo anterior nos permitimos interpretar que algunos de los contenidos que Alejandra aborda en sus clases, así como algunos de sus propósitos de enseñanza se encuentran en estrecha relación con los lineamientos del énfasis en Biotecnología de la institución escolar, incluidos en el documento marco desarrollado junto a la Universidad de la Salle, documento que Alejandra ha apropiado y que lleva al desarrollo de su práctica de la enseñanza de la Biotecnología. No obstante, también reiteramos que, en el caso de los propósitos de enseñanza notamos la coexistencia de finalidades propedéuticas (Acevedo, 2004), asociadas a una enseñanza tradicional, así como finalidades asociadas a perspectivas sociocríticas de la educación científica (Acevedo et al., 2002), lo que puede estar relacionado con la vinculación de Alejandra a un programa de enseñanza institucionalizado, acompañado además por personal lejano a los

procesos de enseñanza de la Biotecnología, pero también a la reflexión de sus procesos de enseñanza.

Respecto a la realización de prácticas de laboratorio, cabe traer a colación que en el colegio en el que se desempeña Alejandra existe un laboratorio dotado de manera suficiente para la realización de algunas prácticas, el cual, desde nuestra interpretación presenta una mejor infraestructura que el laboratorio del colegio de Tomás, dado que cuenta con más equipos y materiales de trabajo, por lo que, quizás Alejandra no encuentra la necesidad de salir con sus estudiantes fuera del entorno escolar, en la medida que no existen mayores limitaciones en la realización de las prácticas propuestas. Sin embargo, y como ya hemos mencionado, a través del análisis de las clases 6 y 7, en las que Alejandra realizó la práctica de laboratorio sobre fermentación y de los mapas que representan el CDC en acción de estas clases (Figura 7), el hecho de hacer prácticas de laboratorio no es garantía del aprendizaje de aspectos relacionados con la Naturaleza de la Biotecnología, lo que nos lleva a cuestionarnos acerca de la relación entre la infraestructura y dotación de los laboratorios escolares y la realización de actividades prácticas que conlleven a aprendizajes sobre la Biotecnología, cuestionamiento que planteamos como elemento de reflexión para Alejandra y Tomás, así como de análisis y discusión para próximas caracterizaciones relacionadas con los procesos de enseñanza de la Biotecnología escolar.

En las clases que sistematizamos, observamos también como el conocimiento de los profesores respecto al contexto cotidiano de los estudiantes como de la investigación y producción biotecnológica influencia sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

Es así como en sus declaraciones al instrumento ReCo, Tomás señala que cuando inició el proceso de la enseñanza de la Biotecnología en el colegio se cuestionó acerca de los contenidos de enseñanza, lo que lo llevo a decidir que debía contextualizar a los estudiantes en relación con la Biotecnología a partir de situaciones de la vida cotidiana, para luego complejizar sus conocimientos previos al respecto. Adicionalmente Tomás mencionó el contexto de la Biotecnología al señalar como propósito de enseñanza el acercamiento a los estudiantes a situaciones relacionadas con productos y aplicaciones biotecnológicas que los lleven a asumir posturas al respecto, así como frente a los avances de la Biotecnología y sus impactos en la sociedad. Lo que en ambas situaciones conlleva a que el componente Contexto establezca relaciones de complejidad de referencia con los componentes Contenidos y Propósitos de enseñanza, evidentes en su mapa del CDC declarativo (Figura 20).

Estas declaraciones tienen una alta correspondencia con lo que sucedió en la práctica de Tomás, en la que observamos que hizo referencia a situaciones de la cotidianidad a partir de las cuales buscó contextualizar los contenidos de enseñanza. Así, por ejemplo, durante su exposición sobre los tipos de Biotecnología, presentó a los estudiantes aplicaciones que podrían ser familiares para

ellos, como los biofármacos, los detergentes con enzimas microbianas, las cremas basadas en algas y la biorremediación, las cuales en algunos casos problematizó. De igual manera, en otras de las clases mencionó productos genéticamente modificados que ya se encuentran en el mercado como el tomate, el maíz transgénico y las rosas azules, de los que señaló circula información a través de los medios de comunicación, por lo que es necesario contar con la información que les permita tomar decisiones al respecto.

Adicionalmente cabe señalar que tanto en sus respuestas al ReCo como en las clases que sistematizamos, Tomás hizo referencia al contexto de la investigación en Biotecnología tanto a nivel nacional como a nivel mundial. Es así como en sus clases abordó contenidos de enseñanza asociados a la regulación de la producción y comercialización de los organismos genéticamente modificados, así como a las normas de Bioseguridad establecidas en el mundo para experimentar y proteger la biodiversidad, problematizando tales contenidos y presentando al mismo tiempo a los estudiantes cuestiones sociocientíficas al respecto. Lo que llevó a que varias de las relaciones entre el contexto y los contenidos de enseñanza representadas en su mapa consolidado de CDC en acción (Figura 16), tuvieran una complejidad de referencia.

Por su parte, Alejandra también hizo uso de su conocimiento sobre el contexto de la Biotecnología y lo relacionó con los contenidos de enseñanza, las estrategias y los propósitos, potenciando la enseñanza de la Biotecnología. En este caso vale la pena aclarar que Alejandra hizo mayor mención a su conocimiento sobre el contexto en sus respuestas al ReCo que en las clases que sistematizamos, en las que evidenciamos relaciones entre el contexto y las estrategias de enseñanza y entre el contexto y los contenidos de enseñanza.

Mientras que en el transcurso de las clases observadas notamos que Alejandra trajo a los estudiantes un documento relacionado con el uso de procesos fermentativos en la producción de café, así como un video sobre los biocombustibles en Argentina, estrategias que relacionamos con propósitos asociados con el contexto de la producción biotecnológica a nivel nacional, pero que no fueron alcanzados en el transcurso de las clases. Así como una presentación acerca de los biocombustibles apoyada en unas diapositivas de Power Point, con la que estableció relaciones entre el contexto de la producción de los biocombustibles en Colombia, y los contenidos de enseñanza, propiciando al mismo tiempo la reflexión acerca de sus consecuencias en el plano económico, pero también en el plano de la equidad, lo que asociamos a una perspectiva sociocrítica de la producción biotecnológica.

De lo anterior resaltamos que el conocimiento de Tomás y Alejandra sobre el contexto, tanto a nivel práctico como a nivel declarativo les permite acercar a los estudiantes a situaciones concretas y complejas que involucran implicaciones de la Biotecnología en la sociedad, así como fomentar una comprensión global de los procesos y las aplicaciones biotecnológicas, y suscitar una reflexión orientada a la toma de decisiones acerca de situaciones relacionadas con la



Biotecnología (Steele y Aubusson, 2004), lo cual, desde nuestra interpretación constituye una particularidad de los procesos de enseñanza de la Biotecnología que potencia no solo el aprendizaje sobre la Biotecnología, sino sobre las Ciencias Naturales en general.

Adicionalmente, y desde el caso particular de la profesora Alejandra, interpretamos que el conocimiento de los saberes de las culturas propias, los ancianos, los campesinos y los indígenas, hace parte de un conocimiento sobre un contexto sociocultural, que permite la contextualización de diversos contenidos de enseñanza de la Biotecnología.

De todo lo anterior concebimos la Biotecnología como un campo prolífico para la enseñanza de las Ciencias Naturales, en tanto hace parte de una amplia variedad de situaciones contextuales tanto a nivel local, como nacional, internacional y global que involucran relaciones ciencia – tecnología y sociedad que pueden ser abordadas en las aulas, posibilitando la formación de una ciudadanía responsable (Acevedo et al., 2002) y situada en su realidad (Massarini, 2012).

Así, y a partir del panorama que acabamos de describir señalamos entonces que, tanto en la práctica como en lo declarado, el conocimiento sobre el contexto se constituye en un componente del CDC que posibilita la complejización de la enseñanza tanto de la Biotecnología, como de las Ciencias Naturales, en la medida que permite establecer relaciones con los otros componentes del CDC, abordar de manera articulada distintos contenidos curriculares y problematizarlos y presentar a los estudiantes cuestiones sociocientíficas, lo que puede además conllevar a la toma de decisiones y posiciones respecto a las implicaciones de la Biotecnología y de la tecnociencia en general en la sociedad. Lo anterior coincide con las expresiones de Sanmartí, Burgoa, y Nuño (2011) y de Chamizo e Izquierdo (2005), para quienes la contextualización de las ciencias incide sobre los contenidos que se aborden durante la enseñanza, de forma tal que al tener en cuenta problemas que no son ajenos a los estudiantes, también se hace evidente la utilidad del aprendizaje de los conocimientos dado que permiten el análisis de hechos del entorno y la toma de decisiones bien fundamentadas.

En este sentido, y a partir de los datos de la investigación, señalamos que, al incluir el contexto en la enseñanza de la Biotecnología, como parte de la enseñanza de las Ciencias Naturales, se pueden abordar problemas reales, originados en un contexto cotidiano o en un contexto más próximo al de la investigación biotecnológica, desde una perspectiva sociocrítica, a partir de la cual promover la alfabetización científica y la formación de la ciudadanía, de forma tal que los estudiantes alcancen aprendizajes significativos, que les ayuden a afrontar diferentes retos que acontecen a lo largo de su vida y a comprender de manera contextual los recientes avances de la Biotecnología.

#### **4.6.4 El conocimiento sobre los estudiantes y su influencia en la enseñanza de la Biotecnología**

A través de la sistematización de las clases observadas y de los instrumentos aplicados encontramos de manera particular que el conocimiento que tienen los profesores Tomás y Alejandra acerca de sus estudiantes incide considerablemente en sus procesos de enseñanza de la Biotecnología.

En este sentido, a partir de nuestra interpretación, podemos señalar que, tanto a nivel declarativo, como en la acción, Alejandra reconoce que sus estudiantes tienen ideas y conocimientos previos acerca de la Biotecnología, los cuales, son un referente continuo de su proceso de enseñanza, lo que coincide con los planteamientos de Kidman (2009), respecto a la importancia de reconocer e incorporar los conocimientos previos de los estudiantes en la enseñanza de la Biotecnología.

Adicionalmente, Alejandra suele reconocer las habilidades y potencialidades de sus estudiantes, lo que notamos en las clases, así como en sus declaraciones, en las que hace referencia a su conocimiento acerca de las habilidades e intereses de sus estudiantes, señalando que ese conocimiento la lleva a plantear como propósito de enseñanza motivarlos a encaminar su educación superior hacia carreras profesionales o técnicas relacionadas con los conocimientos biotecnológicos que han adquirido en el colegio, o a darle continuidad en el campo laboral a los proyectos de investigación escolar en Biotecnología desarrollados.

De igual manera, cabe señalar que el conocimiento de Alejandra acerca de sus estudiantes también influencia sus procesos de evaluación, lo anterior dado que, tanto en sus clases como en sus declaraciones incorpora en los aspectos a evaluar el interés de los estudiantes por el desarrollo de las actividades, sus aportes al trabajo en grupo, así como destrezas y habilidades de los estudiantes, que en la mayoría de los casos no son tópicos específicos, con lo que prima una evaluación de contenidos asociados a la formación integral de los estudiantes.

De acuerdo a nuestra interpretación, el conocimiento de Alejandra respecto a sus estudiantes también influye en el diseño de sus estrategias de enseñanza, así como en la planeación de su estructura curricular, esto, cuando en sus declaraciones, Alejandra manifiesta explícitamente la importancia de partir de lo que los estudiantes saben, por lo que acude a solicitarles que visiten las plazas de mercado e indaguen por prácticas biotecnológicas tradicionales, lo que después le permite abordar contenidos como la clasificación de los microorganismos, la utilidad de los microorganismos y el funcionamiento de las células.

En cuanto al profesor Tomás, podemos resaltar que al igual que en el caso de Alejandra, su conocimiento acerca de los conocimientos previos y características particulares de sus estudiantes son un punto de partida fundamental en la organización de la secuencia de los contenidos y en el planteamiento de las estrategias de enseñanza. Es así como, en una de sus respuestas, Tomás nos cuenta, a manera de reflexión, la importancia que hoy en día les concede a las experiencias y saberes de los estudiantes en el planeamiento y replanteamiento de la estructura curricular del énfasis en Biotecnología. En sus respuestas, y como ya hemos mencionado, Tomás también reconoce que sus estudiantes son jóvenes y adultos, que poseen diferentes ritmos de aprendizaje e intereses, lo que se constituye en un reto en el abordaje de los contenidos de enseñanza.

Así como en el caso de Alejandra, en Tomás también resaltamos la motivación que fomenta respecto al aprendizaje de la Biotecnología, desde la que, en una de las clases plantea como propósito de enseñanza, animar a los estudiantes a pensar las cosas desde una actitud científica y a mantener dicha actitud en sus proyectos de vida.

Así, notamos tanto en Tomás como en Alejandra el propósito de impactar en los proyectos de vida de sus estudiantes, el cual, en caso de Tomás aparece, tanto en sus declaraciones, como en sus clases.

De esta manera, cabe señalar, que al igual que Alejandra, durante sus respuestas al ReCo, Tomás manifiesta que busca que, a partir del enriquecimiento de su conocimiento sobre la Biotecnología, los estudiantes generen ideas de negocio, y de allí, que obtengan ingresos económicos, propósito que también manifiesta en la clase en la que reflexiona junto a sus estudiantes acerca de la visita a Corpoica, con lo que, desde nuestra interpretación, ambos profesores reconocen las necesidades económicas y la realidad social de la población con la que trabajan, reconocimiento del que derivan algunos de sus propósitos y estrategias de enseñanza.

De manera adicional cabe señalar que en otra de sus respuestas al ReCo Tomás manifiesta que el eje del emprendimiento de su propuesta curricular, en el que aborda contenidos como actitud emprendedora y pensamiento innovador, se origina precisamente en el conocimiento que tiene respecto a los proyectos de vida de los estudiantes, en cuanto a que no tienen metas que vayan más allá de terminar el bachillerato.

De lo anterior, y desde nuestra interpretación notamos que el componente Conocimiento sobre los estudiantes es un componente del CDC que influencia y caracteriza las prácticas de enseñanza de ambos profesores (ver figuras 8, 11, 15 y 18).

En el caso de Alejandra, consideramos que su preocupación por los estudiantes es algo que la identifica como maestra, y que en la acción dicha preocupación deriva de su conocimiento acerca

de las realidades de los estudiantes, con la intención de formarlos como sujetos íntegros que puedan transformar sus vidas, lo cual, se aleja del plano del Conocimiento Didáctico de la Biotecnología y trasciende a un plano pedagógico y formativo para la interacción en sociedad. Lo anterior contrasta con sus declaraciones, en las que, desde lo que mencionamos, refiere la intención que los estudiantes opten por carreras asociadas con la Biotecnología, intención que no se hizo evidente durante la observación que realizamos, y que, desde nuestra interpretación se podría corresponder con los objetivos del Programa de Media Fortalecida en el que se inscribe el énfasis en Biotecnología del colegio.

Así, desde el conocimiento sobre los estudiantes identificamos una tensión en la práctica de la profesora, en la medida en la que su personalidad la lleva a formar a sus estudiantes a través de la enseñanza de la Biotecnología y no para la Biotecnología, estudiantes que además son adolescentes, por lo que quizás desde la perspectiva de Alejandra, necesitan de su orientación en sus procesos formativos, lo que implica que en la acción los referentes sobre la Biotecnología no se hagan evidentes en relación con este componente del CDC.

En el caso del profesor Tomás, notamos que la formación de los estudiantes como personas íntegras también está presente en su práctica, en la medida que pretende enseñarles a ser responsables y comprometidos con su educación, sin embargo, desde nuestra interpretación, Tomás integra su conocimiento sobre los estudiantes a la enseñanza de la Biotecnología desde dos sentidos. El primero de ellos al incorporar los conocimientos de los estudiantes de origen cotidiano y escolar a las clases, en las que, y de acuerdo con García (1998), a partir de su reconocimiento, lo que hace es enriquecerlos, trayendo al aula el conocimiento de la Biotecnología con toda su complejidad y buscando además que sus estudiantes le encuentren sentido a lo que están aprendiendo y generen un pensamiento crítico respecto a la Biotecnología. Y el segundo, al querer impactar los proyectos de vida de sus estudiantes. Lo anterior desde su reconocimiento como trabajadores y/o padres de familia, que no tienen metas asociadas a la formación académica o profesional, que lo lleva a mostrarles, desde Biotecnología escolar, la academia como una posibilidad de que lo biotecnológico y lo científico haga parte de sus proyectos de vida.

De lo anterior, y como ya hemos señalado derivan algunas de las estrategias y contenidos incluidos en la estructura curricular del proyecto de énfasis en Biotecnología del profesor, con lo que, a diferencia de Alejandra, en la práctica de Tomás evidenciamos que la formación de sus estudiantes no solamente ocurre a través de la enseñanza de la Biotecnología, sino hacia la incorporación de la Biotecnología en sus vidas, como mecanismos de transformación.

Finalmente, queremos hacer referencia a la productividad en relación a la enseñanza de la Biotecnología, dado que, desde nuestra interpretación, para ninguno de los profesores, la

obtención de productos comercialmente rentables constituye un propósito de la Biotecnología escolar, aunque sí, un mecanismo de incorporación de la Biotecnología a las vidas laborales de sus estudiantes y de allí, de transformación de sus proyectos de vida a través del conocimiento biotecnológico, propósitos desde los cuales se ha justificado la incorporación de la Biotecnología en la escuela (Valbuena, 1998; Melo et al., 2001; Delgado, 2012; Borgerding et al., 2013) y que parecen coexistir con los propósitos más actuales de aumentar la comprensión y facilitar el debate público informado (Roa y Valbuena, 2013).

## ***CAPÍTULO V: CONCLUSIONES***

En este capítulo presentamos las conclusiones derivadas de los resultados de investigación de esta tesis doctoral, en la que caracterizamos el Conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido de dos profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá.

Las siguientes conclusiones están estructuradas de acuerdo a los objetivos específicos propuestos, por lo que, en su orden encontramos las conclusiones sobre las características de los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología, sobre las características de las relaciones entre componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología, sobre las características de los componentes del Conocimiento sobre la Biotecnología y, sobre las relaciones entre los anteriores conocimientos. Finalmente encontramos las conclusiones a nivel metodológico.

### **5.1 Sobre las características de los componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología**

La caracterización de cada componente del CDC de la Biotecnología de los profesores y la construcción de los mapas que representan la configuración y estructura de sus CDC, nos permiten concluir, así como lo han hecho otras investigaciones, que el CDC identifica a cada profesor, en tanto es tópico específico, idiosincrático y personal.

Desde esta mirada, a continuación, presentamos las conclusiones sobre las características de cada uno de los componentes del CDC de la Biotecnología de los profesores Alejandra, y Tomás, las cuales derivan de la sistematización y análisis de su CDC en acción y su CDC declarativo.

#### **5.1.1 Acerca del conocimiento sobre los contenidos de enseñanza**

- El análisis de los datos de la investigación y su contrastación con la revisión teórica nos llevaron a identificar que los aspectos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología constituyen un elemento central dentro de los contenidos de enseñanza en la práctica de los dos profesores; en relación a lo anterior, concluimos que los contenidos de enseñanza de la Biotecnología trascienden los conceptos, datos, hechos, actitudes y procedimientos e incorporan aspectos epistemológicos, históricos y sociológicos de la Biotecnología.
- Las prácticas pedagógicas de los profesores Tomás y Alejandra trascienden las definiciones y procedimientos asociados a las aplicaciones biotecnológicas e involucran cuestiones

sociocientíficas relacionadas por ejemplo con la producción de biocombustibles, la comparación de los procesos de *fracking* y biorremediación, la clonación, los alimentos transgénicos y los biofármacos. Este abordaje posibilita reconocer relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente presentes en la Biotecnología, que derivan en implicaciones de orden social, ético, económico y político. Lo anterior deja en evidencia la importancia de incluir este tipo de contenidos en los currículos de enseñanza de la Biotecnología en la secundaria en tanto posibilitan una comprensión global de la ciencia y la tecnociencia contemporáneas.

- En los dos profesores del estudio de caso, la biopolítica y la bioética constituyen elementos asociados a los contenidos de enseñanza de la Biotecnología -esto cuando Tomás hace referencia a la bioseguridad, al acceso a los biofármacos y a la monopolización de semillas transgénicas certificadas y Alejandra se refiere a la producción de fármacos patentados y a la regulación de la investigación biotecnológica- que involucran reflexiones connaturales tanto de la Biotecnología en general como de la Biotecnología escolar y que la identifican de otras disciplinas, permitiendo complejizar no sólo la enseñanza de la Biotecnología *per se*, sino también la enseñanza de las Ciencias.
- Los profesores abordan la historia de la Biotecnología como contenido de enseñanza; enfatizando fundamentalmente en hechos y acontecimientos de la Historia de la Biología, la Bioquímica y la Biología molecular.
- Para el caso de Alejandra el conocimiento científico no es el único referente del conocimiento de la Biotecnología, ya que además incluye saberes culturales, ancestrales e indígenas de la población colombiana.
- En los procesos de enseñanza de la Biotecnología que tuvimos la oportunidad de observar, prevalecen los contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología, así como los contenidos conceptuales, en contraste, los contenidos procedimentales y actitudinales son minoritarios.

### **5.1.2 Acerca del conocimiento sobre las estrategias de enseñanza**

- Tanto Alejandra como Tomás se refieren a las prácticas de laboratorio como estrategia fundamental en los procesos de enseñanza de la Biotecnología, sin embargo, a partir de la ejecución de la práctica de laboratorio acerca de las clases de fermentación realizada por Alejandra concluimos que la realización de prácticas de laboratorio, no siempre conlleva a la enseñanza de contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología *per se*.
- Las estrategias de enseñanza de la Biotecnología empleadas por los profesores incorporan el desarrollo de proyectos de investigación biotecnológica escolar, con las cuales pretenden que los estudiantes se relacionen con procesos de construcción del conocimiento biotecnológico.

- Entre las estrategias de enseñanza empleadas por Alejandra y Tomás durante la práctica observada, resaltan algunas que posibilitan el abordaje de contenidos relacionados con la Naturaleza de la Biotecnología, tales como la construcción de la primera Línea del Tiempo, la presentación de las diapositivas y videos sobre los biocombustibles y las lecturas sobre el *fracking* y la biorremediación, empleadas por Alejandra, y, la modelización y la salida a Corpoica, empleadas por Tomás. En el desarrollo de sus clases, los profesores emplearon estrategias, conformadas a su vez por diferentes actividades y generalmente orientadas por la presentación de manera explícita de propósitos de enseñanza relacionados con la Biotecnología.
- En los dos casos, especialmente en Tomás, la pregunta constituye una estrategia que permite interactuar con los estudiantes, así como cuestionar, debatir y discutir sobre diferentes asuntos asociados a la Biotecnología.

### **5.1.3 Acerca del conocimiento sobre los propósitos de enseñanza**

- Tanto Alejandra como Tomás hacen referencia explícita en sus clases a los propósitos de enseñanza, los cuales, en el caso de Alejandra están más relacionados con la comprensión de conceptos de la Bioquímica y la Biología, el desarrollo de habilidades para el trabajo en grupo, la comprensión de lectura y el seguimiento de protocolos y en el caso de Tomás con la comprensión de contenidos asociados a la Naturaleza de la Biotecnología y a la modelización, así como a la toma de postura frente a situaciones controvertidas relacionadas con la Biotecnología, con lo que en Tomás fue más evidente la búsqueda de una comprensión global de los contenidos de la Biotecnología por parte de los estudiantes.
- Para los profesores es propósito de la enseñanza de la Biotecnología articular los contenidos de enseñanza con los proyectos de vida de los estudiantes, en cuanto a su formación profesional o como opción laboral. Lo anterior puede deberse a los objetivos que desde las políticas distritales se han planteado para los Programas de Educación Media Fortalecida, encaminados precisamente a la vinculación de los estudiantes con el sector laboral y/o a la educación superior.
- Para Tomás el propósito de la enseñanza de la Biotecnología está asociado a una Biotecnología escolar con una epistemología propia y diferente a la epistemología que hace parte de la Biotecnología como tecnociencia.

### **5.1.4 Acerca del conocimiento sobre la evaluación**

- Las preguntas abiertas y cerradas se constituyen en la estrategia más empleada por los profesores durante la evaluación de contenidos tópicos específicos de la Naturaleza de la Biotecnología, conceptuales y procedimentales.



- Ambos profesores hicieron uso de estrategias evaluativas orientadas a la autoevaluación y coevaluación, las cuales en el caso de Alejandra estuvieron orientadas a la evaluación de destrezas y habilidades de los estudiantes no tópicos específicas y por tanto no posibilitaron el reconocimiento de los estudiantes de sus fortalezas y debilidades respecto al aprendizaje de la Biotecnología.
- En la práctica de los profesores predomina la evaluación de contenidos conceptuales sin llegar a identificar la evaluación de contenidos actitudinales.

### **5.1.5 Acerca del conocimiento sobre los estudiantes**

- Alejandra y Tomás saben que sus estudiantes tienen conocimientos previos y características particulares, que indagan e integran a su práctica de enseñanza de la Biotecnología como un referente continuo de su proceso de enseñanza.
- Tanto Tomás como Alejandra acuden a ejemplos de la cotidianidad con los cuales aproximan a los estudiantes a los contenidos de enseñanza, realizan preguntas orientadas a la indagación de conocimientos previos, escuchan y dan respuesta a las preguntas de los estudiantes y motivan a sus estudiantes respecto al aprendizaje de la Biotecnología.
- En el caso de Alejandra, consideramos que su preocupación por los estudiantes es algo que la identifica como maestra, y que en la acción dicha preocupación deriva de su conocimiento acerca de las realidades de los estudiantes, con la intención de formarlos como sujetos íntegros que puedan transformar sus vidas, lo cual, se aleja del plano del Conocimiento Didáctico de la Biotecnología y trasciende a un plano pedagógico y formativo para la interacción en sociedad.
- El conocimiento de Tomás sobre los estudiantes le permite incorporar los conocimientos de los estudiantes de origen cotidiano y escolar a las clases y lo lleva a querer impactar los proyectos de vida de sus estudiantes.

### **5.1.6 Acerca del conocimiento sobre el contexto**

- La investigación permite evidenciar que el contexto es un componente del CDC de la Biotecnología.
- El conocimiento del contexto institucional que poseen los profesores afecta la toma de decisiones en cuanto a, con qué propósitos enseñar, qué contenidos abordar y, a qué estrategias acudir.
- Los profesores hacen uso de su conocimiento sobre el contexto, a través de la articulación a sus prácticas de enseñanza de una variedad de situaciones relacionadas con contextos económicos, políticos, culturales y sociales, tanto a nivel local, como nacional, internacional y global, a través de las cuales contextualizan diversos contenidos de enseñanza.

- El conocimiento de Tomás y Alejandra sobre el contexto, tanto a nivel práctico como a nivel declarativo les permite acercar a los estudiantes a situaciones concretas y complejas que involucran implicaciones de la Biotecnología en la sociedad, así como fomentar una comprensión global de los procesos y las aplicaciones biotecnológicas y suscitar una reflexión orientada a la toma de decisiones acerca de situaciones relacionadas con la Biotecnología, lo cual, constituye una particularidad de los procesos de enseñanza de la Biotecnología que potencia no solo el aprendizaje sobre la Biotecnología, sino sobre las Ciencias Naturales en general.

## **5.2 Sobre las características de las relaciones entre componentes del Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología**

Al analizar lo que atañe a las características de la estructura del CDC de la Biotecnología en términos de las relaciones entre los componentes de dicho conocimiento, relevamos las siguientes conclusiones, que tienen que ver tanto con las frecuencias y niveles de complejidad como con las implicaciones de tales relaciones.

- En los dos casos los componentes que más relaciones establecen con los demás son Contenidos y Estrategias de enseñanza, en contraste los que menos relaciones establecen son la Evaluación y el Contexto.
- En los CDC de los profesores el conocimiento sobre las estrategias de enseñanza se constituye en un componente que integra y articula los demás componentes, dado que los profesores hacen uso de este conocimiento, no solo para abordar los contenidos de enseñanza, sino también para evaluar, acceder al conocimiento de sus estudiantes e incorporarlo a los procesos de enseñanza, establecer propósitos de enseñanza y, contextualizar los contenidos.
- El conocimiento sobre los propósitos de enseñanza de Alejandra y Tomás conlleva a que ambos profesores presenten de manera recurrente las intenciones de su enseñanza, las cuales involucran relaciones con los demás componentes del CDC, que son más frecuentes con los componentes contenidos de enseñanza y estrategias de enseñanza, pero que también tienen que ver con el conocimiento de los estudiantes, la evaluación y el contexto, con lo que el conocimiento sobre los propósitos de enseñanza también ejerce un papel integrador en el CDC de la Biotecnología.
- El conocimiento que tienen los profesores Tomás y Alejandra acerca de sus estudiantes incide considerablemente en los demás componentes de su CDC, en tanto este conocimiento es un punto de partida fundamental en la organización de la secuencia de los contenidos y en el planteamiento de las estrategias de enseñanza, así como en el planteamiento de propósitos de enseñanza orientados a la incorporación de los conocimientos biotecnológicos a sus proyectos de vida y a su formación integral.

- A pesar que el conocimiento sobre el contexto es el componente menos frecuente en términos de relaciones con los demás componentes, las relaciones que establece son en su mayoría de complejidad de referencia, lo que lleva a que este componente desempeñe un papel fundamental en la complejidad del CDC de la Biotecnología.
- Tanto en la práctica como en lo declarado, el conocimiento sobre el contexto de los profesores se constituye en un componente del CDC que posibilita la complejización de la enseñanza tanto de la Biotecnología, como de las Ciencias Naturales, en la medida que permite abordar de manera articulada distintos contenidos curriculares y problematizarlos, así como presentar a los estudiantes cuestiones sociocientíficas, a través de distintas estrategias de enseñanza, lo que puede además conllevar a la toma de decisiones y posiciones respecto a las implicaciones de la Biotecnología y de la tecnociencia en general.
- El CDC de los dos profesores representa un conocimiento complejo, lo cual está relacionado con el planteamiento de unos propósitos orientados al análisis crítico de las implicaciones de la producción biotecnológica en la sociedad, contenidos de enseñanza que involucran la problematización del desarrollo de la Biotecnología y, el reconocimiento de las características y conocimientos previos de los estudiantes como referente continuo del proceso de enseñanza.
- En el caso de Alejandra, aunque la tendencia es a un CDC complejo en su conjunto, los datos muestran que hay una coexistencia en los niveles de complejidad de las relaciones entre los componentes.
- Las relaciones entre los componentes del CDC tanto declarativo como en acción de los dos profesores, muestran que dicho conocimiento es consistente en tanto hay una correspondencia entre la estructura de su CDC declarativa y lo de su CDC en acción.

### **5.3 Sobre las características de los componentes del Conocimiento sobre la Biotecnología**

Las siguientes conclusiones derivan de la sistematización y análisis de las respuestas de los profesores al instrumento para la indagación del Conocimiento sobre la Biotecnología y hacen referencia a las características de los conocimientos sobre la Naturaleza de la Biotecnología y las creencias sobre la Biotecnología como componentes del Conocimiento sobre la Biotecnología de los profesores estudiados.

#### **5.3.1 Acerca del conocimiento sobre la Naturaleza de la Biotecnología**

- Los dos profesores tienen un posicionamiento acerca del estatus epistemológico de la Biotecnología. Para Alejandra la Biotecnología es una *ciencia*, ya que tiene un conocimiento propio, un desarrollo histórico y su propia caracterización, mientras que Tomás, le confiere el estatus de *tecnociencia*, señalando que en ella se superponen el conocimiento científico y

el tecnológico en aras de obtener aplicaciones o productos, y además que tiene implicaciones sociales y genera discusiones y actitudes de aceptación y rechazo.

- Ambos profesores reconocen que la Biotecnología tiene una naturaleza interdisciplinar, incluyendo en sus justificaciones el estatus epistemológico otorgado previamente. Así, según Alejandra la Biotecnología es una ciencia que no necesita ser autónoma y que tiene relación con la tecnología, la Microbiología, la Biología, la Química y la Bioquímica. Tomás por su parte señala que en la Biotecnología se imbrican la ciencia y la tecnología y que en ella confluyen diferentes disciplinas y profesionales, cada uno aportando desde su ciencia, a la obtención de un producto.
- Para Tomás el objeto de la Biotecnología incorpora el uso de estructuras biológicas o procesos biológicos, la manipulación de lo vivo, así como la obtención de resultados o productos con rentabilidad comercial. Para Alejandra el objeto de la Biotecnología incluye en mayor medida la participación de procesos biológicos desarrollados por seres vivos, y en menor medida la obtención de productos y la manipulación de lo vivo.
- Para los dos profesores la Biotecnología genera beneficios a la humanidad, adicionalmente, para Tomás una de las finalidades de la Biotecnología radica en generar una alta productividad.
- Tanto para Alejandra como para Tomás los elementos que aportan a la Naturaleza de la Biotecnología desde el aspecto histórico, corresponden a hitos que están referenciados principalmente desde la historia de la Biología, no obstante, ninguno de ellos identifica elementos de la historia de la Biotecnología relacionados con la producción.
- Para los dos profesores la Biotecnología está atravesada por elementos de orden filosófico, bioético, ontológico y político. En este sentido, Alejandra cuestiona la moralidad y la ética de los investigadores, mientras que Tomás, señala como consecuencia de las patentes el cambio en la concepción de lo que es la vida y se refiere a la biopolítica y al biopoder como mecanismos de validación del conocimiento biotecnológico.

### **5.3.2 Acerca de las creencias sobre la Biotecnología**

- En Alejandra coexisten la valoración positiva y negativa de la Biotecnología que derivan de sus experiencias personales y de la crítica a la irresponsabilidad de los investigadores, en contraste, para Tomás la Biotecnología es neutra, es decir, para él la Biotecnología no es ni buena ni mala.
- Para los profesores la Biotecnología no es aséptica, está cargada de valoraciones, emociones y polémicas, lo que da cuenta de un conocimiento, que genera intrigas y dudas a la población en general, cuya enseñanza involucra la posibilidad de promover discusiones críticas al interior de las aulas.

#### **5.4 Sobre las relaciones entre el Conocimiento sobre la Biotecnología y el Conocimiento Didáctico del Contenido de la Biotecnología**

A continuación, presentamos las conclusiones respecto a las relaciones identificadas entre el Conocimiento sobre la Biotecnología y el CDC de los profesores Alejandra y Tomás.

- Los referentes de la Naturaleza de la Biotecnología de los dos profesores orientan la enseñanza de la Biotecnología y por lo tanto la configuración de su CDC en términos de sus componentes y sus relaciones.
- Tomás asume y explicita la tecnociencia como estatus epistemológico de la Biotecnología, lo cual se relaciona con una enseñanza de la Biotecnología en la que se abordan contenidos epistemológicos, históricos, conceptuales, procedimentales y actitudinales de manera integrada, se problematizan las implicaciones éticas, económicas y políticas de la Biotecnología, se dejan en evidencia algunas cuestiones sociocientíficas que subyacen al progreso biotecnológico y se busca enseñar a los estudiantes a tomar decisiones argumentadas en relación con la Biotecnología.
- Para Alejandra el referente predominante es asumir la Biotecnología como ciencia, lo cual se relaciona con una enseñanza centrada en conceptos de la Biología y la Química, en la que no siempre se explicitan elementos del objeto de la Biotecnología como la mediación de seres vivos o de sus componentes en la obtención de productos o la producción con intereses económicos.
- El análisis de los datos de la investigación nos deja ver que para los profesores la realización de prácticas de laboratorio son estrategias fundamentales en la enseñanza de la Biotecnología, y que sus propósitos, así como los contenidos de enseñanza abordados a través de ellas mantienen una relación estrecha con los referentes epistemológicos de la Biotecnología de los profesores.
- El conocimiento de los dos profesores acerca de la Naturaleza de la Biotecnología se constituye en un conocimiento potente para la enseñanza de la Biotecnología, en cuanto posibilita la incorporación de contenidos de enseñanza asociados al análisis de relaciones ciencia – tecnología – sociedad en situaciones cotidianas y además contemporáneas que implican el uso de la vida, la participación de los sujetos, así como contenidos asociados a saberes ancestrales y culturales y discursos bioéticos y biopolíticos.
- Además del conocimiento sobre la Biotecnología, los saberes existenciales de los profesores influyen su CDC y de allí sus prácticas de enseñanza de la Biotecnología.
- La formación académica y las trayectorias profesionales de Alejandra y Tomás establecen relaciones con los componentes de su CDC, principalmente con sus estrategias de enseñanza.

## 5.5 Conclusiones en términos metodológicos

En términos metodológicos podemos concluir que:

- La Hipótesis de Progresión que construimos a partir del análisis documental de literatura relacionada con la enseñanza de la Biotecnología constituye una alternativa para entender y analizar de manera argumentada, explícita y reflexionada el CDC de la Biotecnología y al mismo tiempo posibilita valorar las relaciones entre los componentes del CDC con respecto a su nivel de complejidad.
- En la modelización que implementamos en la investigación incorporamos como elemento de representación de las relaciones entre componentes, la direccionalidad de las relaciones y la complejidad de las mismas. Derivado de esto, los mapas que representan el CDC de los profesores, permiten evidenciar no solamente que componentes están relacionados, sino la complejidad de dichas relaciones, superando perspectivas analíticas centradas en la identificación de los componentes del CDC.
- La propuesta de modelización que presentamos aporta a la caracterización del CDC de la Biotecnología, ya que permite evidenciar puntualmente en qué componentes está centrada la enseñanza de este contenido, qué relaciones y componentes están ausentes, cuáles relaciones se deben fortalecer hacia niveles de complejidad de referencia, aportando elementos de reflexión para la comprensión, transformación y mejoramiento de la enseñanza de la Biotecnología por parte no solo de los profesores investigados, sino de otros docentes interesados en la enseñanza de la Biotecnología, y aún más, para implementar y/o modificar propuestas de formación docente en Biotecnología y de incorporación de la Biotecnología en los currículos escolares.
- La tesis da cuenta de la caracterización del CDC de la Biotecnología de manera holística e integral, puesto que incorporó tanto el CDC en acción, como el CDC declarativo.
- Pese a la intencionalidad de las preguntas del instrumento Conocimiento sobre la Biotecnología, orientadas a la identificación de las creencias de los profesores sobre la Biotecnología, en sus respuestas es difícil distinguir entre creencias y conocimientos, lo que podría conducir a la realización de modificaciones en el instrumento durante futuras investigaciones.
- La metodología desarrollada en esta tesis de investigación no es suficiente para comprender los mecanismos de construcción del CDC de la Biotecnología, los cuales, de acuerdo al análisis de los datos de investigación, tienen que ver con la reflexión constante de los docentes en cuanto a la Naturaleza de la Biotecnología, la influencia de sus saberes existenciales y, la apropiación tanto de los contextos como del conocimiento sobre los estudiantes. Lo anterior se constituye en una posible investigación que podría sumarse a las escasas investigaciones en cuanto al CDC de la Biotecnología.

## REFERENCIAS

- Abell, S. (2007). Research on science teacher knowledge. En: S. Abell y N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. (pp. 1105–1149.) New York: Routledge.
- Abelson, R. (1979). Differences between belief systems and knowledge systems. *Cognitive Science*, 3, 355-366.
- Acevedo, J. (1996). La tecnología en las relaciones CTS. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.
- Acevedo, J. (1998). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 409-420.
- Acevedo, J. (2006a). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 370-391.
- Acevedo, J. (2006b). Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 198-219.
- Acevedo, J. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): El marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46.
- Acevedo, J., Manassero, M., Vázquez, A. (2002). Nuevos retos educativos: hacia una orientación CTS de la alfabetización científica y tecnológica. *Pensamiento Educativo*, 30, 15-34.
- Acevedo, J.; Vázquez, A.; Martín, M.; Oliva, J.; Acevedo, P.; Paixão, M. y Manassero, M. (2005), naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 121-140.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme y Didaxis: TED*, número extraordinario, 23-33.
- AgroBio. (2016). Colombia le apuesta a la Biotecnología. Accedido el 15 de enero de 2017, desde <https://www.agrobio.org/colombia-le-apuesta-la-biotecnologia/>
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2006). Hacia un Modelo de Formación Laboral en Biotecnología. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

- Alonso, Á., Manassero, M., Acevedo, J., y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista electrónica de enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 331-363.
- Ander – Egg, E. (1995). *Técnicas de Investigación Social*. Buenos Aires: Lumen
- Argenbio. (2014). Consideraciones didácticas para enseñar biotecnología a niños y jóvenes entre 12 y 17 años. Accedido el 18 de mayo de 2017, desde [http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/Consideraciones\\_didacticas.pdf](http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/Consideraciones_didacticas.pdf)
- Arroyo, G. (2011). La enseñanza y capacitación en Biotecnología desde la perspectiva de la Educación General. *Revista Umbral*, 4, 66-78.
- Ausubel, D. (1973). *Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Avalos, I. (1990). *Biotecnología e Industria. Un ensayo de interpretación teórica*. Costa Rica: IICA.
- Ávila, L., Blanco, J. y Chaparro-Giraldo, A. (2010). Estado actual del acceso a recursos genéticos en Colombia por parte de los grupos de investigación registrados en Colciencias. *Acta biológica colombiana*, 15(2), 115 – 130.
- Aydin, S. y Boz, Y. (2013). The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 615-624.
- Ball, L. y Bass, H. (2003). Toward a practice-based theory of mathematical knowledge for teaching. In B. Davis & E. Simmt (Eds.). *Proceedings of the 2002 annual meeting of the Canadian Mathematics Education Study Group* (pp. 3-14). Canada: Canadian Mathematics Education Study Group.
- Ball, L., Thames, M. y Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of teacher education*, 59(5), 389-407.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en educación secundaria: aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 28(2), 199-214.
- Banks, F., Leach, J., y Moon, B. (2005). Extract from new understandings of teachers' pedagogic knowledge. *Curriculum Journal*, 16(3), 331-340.
- Baquero, A. y Herrera, H. (2004). Bases para un estatuto de bioseguridad en Colombia: antecedentes, principios básicos legales y biotecnológicos. Presentación para el Congreso



- Internacional de Derecho Ambiental, Propiedad, Conflicto y Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Becerra, E y Valbuena, E. (2014). Estructuras sustantiva y sintáctica del conocimiento Biológico. Análisis de un texto universitario. *Revista EDUCyT*. Vol. 9. Junio – Diciembre.
- Bejarano, D. y Basto, J. (2011). Enseñanza de la biotecnología; una estrategia para el fortalecimiento de competencias: investigativas, científicas y en emprendimiento en la educación media. Accedido el 10 de febrero de 2015, desde <http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/paginaimagenes/PRESENTACIONESyPONENCIAS/Memorias%20Ponencias/Bogota/Curriculo%20y%20Evaluacion/Mesa%201%20Septiembre%2021/DAYANA%20BEJARANO%20MU%20D1OZ.pdf>
- Bernal, I. y Valbuena, E. (2011). Estructura sustantiva y sintáctica del conocimiento biológico. *Biografía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, Edición Extraordinaria.
- BIO. (2005). Guide to Biotechnology. Accedido el 10 de febrero de 2015, desde <http://www.bionica.info/biblioteca/BIO2006BiotechGuide.pdf>
- Biocat. (2009). Informe BIOCAT Sobre el estado de la biotecnología, la biomedicina y las tecnologías médicas en Cataluña Biocat (Fundació Privada BioRegió de Catalunya). Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [www.dc347.4shared.com/doc/OgjSO\\_rX/preview.html](http://www.dc347.4shared.com/doc/OgjSO_rX/preview.html)
- Biotech. (2005). Manual de indicadores de Biotecnología. Inventario diagnóstico de las biotecnologías en MERCOSUR y comparación con la Unión Europea / BIOTECH ALA-2005-017-350-C2. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [http://docs.bioteconsur.org/informes/es/inventario/1\\_manual\\_indicadores.pdf](http://docs.bioteconsur.org/informes/es/inventario/1_manual_indicadores.pdf)
- Blosser, P. (2000). How to ask the right questions. Arlington, USA: NSTA Press.
- Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. Profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), 1 – 39.
- Bolívar, F. (2007). Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna. México: El Colegio Nacional.
- Borgerding, L.; Sadler, T.; Koroly, M. (2013). Teachers' Concerns About Biotechnology Education. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 133–147
- Bota, A. (2003). El impacto de la biotecnología en América Latina. Espacios de participación social. *Acta Bioethica*, Año IX, N° 1, 21-38.

- Braun, R. y Moses V. (2004) A public policy on biotechnology education: what might be relevant and effective? *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 246 - 249.
- Brink, J., McKelvey, M. y Smith, K. (2004). Conceptualizing and measuring modern biotechnology. En: *The economic dynamics of modern biotechnology*. U.S.A. Edward Elgar.
- Briones, G. (2001). Metodología de la investigación cualitativa. Chile: Universidad de Chile. Centro Iberoamericano de Educación a Distancia CIEDUS.
- Brown, P., Friedrichsen, P., y Abell, S. (2009). Do beliefs change? Investigating prospective teachers' science teaching orientations during an accelerated post-baccalaureate program. *Contemporary science education research: teaching*, 41.
- Bryce, T. y Gray, D (2004) Tough acts to follow: the challenges to science teachers presented by biotechnological progress. *International Journal of Science Education*, 26(6), 717-733.
- Buchholz, K. y Collins, H. (2013). The roots - a short history of industrial microbiology and biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(9), 3747–3762.
- Bud, R. (1991). Biotechnology in the Twentieth Century. *Social Studies of Science*. 21, 415 - 457.
- Buitrago, G. (2012). Tres décadas de biotecnología en Colombia (editorial). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 5 - 6.
- Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique*, 39(8).
- Caamaño, A. (2005). Contextualizar la ciencia. Una necesidad en el nuevo currículo deficiencias. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 46, 5-8.
- Cabo, J.; Enrique, C., García-Peña y Cortiñas, J. (2006). Opiniones e intenciones del profesorado sobre la participación social en ciencia y tecnología. El caso de la biotecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 349-369.
- Cabrera, H. y García, E. (2014). Historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de Historia Da Ciencia*, 7(2), 298-313.
- CAICYT (2009). La biotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias. Informe elaborado para el Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Sociedad del Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [http://www.oei.es/salactsi/ibero\\_bio\\_final.pdf](http://www.oei.es/salactsi/ibero_bio_final.pdf)

- Camelo, L.; García, Y. y Roa, R. (2009). Propuestas desarrolladas en la enseñanza de la Biotecnología en Bogotá: recopilación de resultados. *Tecne, Episteme y Didaxis*, número extraordinario, 613 - 617.
- Campanario, J. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 179-192.
- Cañal, P. (2000). El análisis didáctico de la dinámica del aula: tareas, actividades, estrategias de enseñanza. En: F. J. Perales y P. Cañal. (Eds). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. (pp. 209-237). España: Alcoy Marfil.
- Carlsen, W. (1999). Domains of Teacher Knowledge. En: Gess – Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 133-144). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Caro, M. (2008). Biotecnología aplicada un logro del Grupo Biosec. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(2), 129-133.
- Carrascosa, J. Gil-Pérez, D., Peña, A. V., y Valdez, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.
- Castaño, T. (2013). Ciencia, tecnología y tecnociencia. Una propuesta para su enseñanza desde CTS. *Revista Vínculos*, 10(2), 471 - 486.
- Catret, M., Gomis, J., Ivorra, E., y Martínez, J. (2013). El uso del entorno local en la formación científica de los futuros docentes. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 749-753.
- Cerda, H. (1991). Los elementos de la investigación: como reconocerlos, diseñarlos y construirlos. Bogotá: El Búho.
- Cerón, L. (2011). Implementación e innovación en biotecnología ambiental e industrial en el contexto empresarial colombiano. Documentos de investigación. Bogotá: Universidad EAN.
- Chamas, A. (2000). Alimentos transgénicos. *Invenio*, 3(4-5), 149-159.
- Chamizo, J. y Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto una reflexión desde la filosofía. *Alambique*, 46, 9-17.
- Chaparro, A. (2011). Cultivos transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 231 – 252.

- Chetty, S. (1996). The Case Study Method for Research in Small-and Medium-Sized Firms. *International Small Business Journal*, 15(1), 73-85.
- Chevallard, Y. (1985). Transposición didáctica, el conocimiento aprendido a saber enseñado. París: El Pensamiento Salvaje.
- Chin, C. 2007. Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. *Journal of research in Science Teaching*, 44(6), 815-843.
- Clavijo, G. (2008). La evaluación del proceso de formación. Bogotá: Colombia aprende.
- Coca, J. y Pintos, J. (2006). Tecnociencia y cooperación: una mirada desde la perspectiva de los imaginarios sociales. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 7(14-15), 63-74.
- Cohen, R. y Yarden, A. (2009). Experienced junior-high-school teachers' PCK in light of a curriculum change: "The cell is to be studied longitudinally". *Research in Science Education*, 39(1), 131-155.
- Colciencias – Corpogen. (2008). La biotecnología: motor de desarrollo para la Colombia de 2015. Bogotá, Colombia.
- Colciencias (1999). Plan Estratégico de Biotecnología. Programa Nacional de Biotecnología 1999 – 2004. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde <ftp://ftp.colciencias.gov.co/web/programas/biotecnologia/planest.pdf>
- Coll, C. (1994). Los contenidos en la educación escolar. En: *Los contenidos en la reforma*. (pp. 9 – 14). Madrid: Santillana S. A.
- Coll, C. y Valls, E. (1994). El aprendizaje y la enseñanza de los procedimientos. En: *Los contenidos en la reforma*. (pp. 81 – 131). Madrid: Santillana S. A.
- Cordón, R. (2008). Enseñanza y aprendizaje de procedimientos científicos (contenidos procedimentales) en la educación secundaria obligatoria: Análisis de la situación, dificultades y perspectivas. España: Universidad de Murcia.
- Corporación Biotec (2011). Inserción de la Biotecnología en la educación media rural. Informe final presentado a Universidad del Valle – Secretaría de Educación Departamental del Valle del Cauca. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://pqr.valledelcauca.gov.co/educacion/descargar.php?id=8646>
- Cubero, R. (1993). Cómo trabajar con las ideas de los alumnos. Sevilla: Editorial Diada.

- Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales ¿distinta terminología y un mismo significado? *Investigación en la Escuela*, 23, 33-42.
- DaSilva, E. (2004) The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronic Journal of Biotechnology*.\_\_Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://www.ejbiotechnology.info/index.php/ejbiotechnology/article/view/1114/1496>
- Dawson, V. y Soames, C. (2006). The effect of biotechnology education on Australian high school students' understandings and attitudes about biotechnology processes, *Research in Science and Technological Education*, 24(2), 183-198.
- Dawson; V. y Venville, G. (2009) High-school Students' Informal Reasoning and Argumentation about Biotechnology: An indicator of scientific literacy? *International Journal of Science Education*, 31(11), 1421-1445.
- De Longhi, A. (2005). Propuestas para un proceso de formación continua de docentes innovadores en educación en ciencias. En: De Longhi, A., Ferreyra, A., Paz, A., Bermúdez, G., Solís, M., Vaudagna, E., & Cortés, M. *Estrategias didácticas innovadoras para la enseñanza de las Ciencias Naturales en la escuela*. Córdoba: Editorial Universitas.
- Delgado, C. (2012). Un modelo pedagógico para la enseñanza de la producción biotecnológica de material vegetal. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá.
- Demain, A. (2001). Molecular genetics and industrial microbiology — 30 years of marriage. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 27(6), 352 - 356.
- Denzin, N. K. (1989). *Strategies of Multiple Triangulation. The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods*. New Jersey: Prentice Hall.
- Departamento Nacional de Planeación. Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2011). Documento Conpes 3696. Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <https://www.cbd.int/doc/measures/abs/post-protocol/msr-abs-co-es.pdf>
- Díaz, S. (2011). El biopoder de la biotecnología o el biotecnopoder. Aportes para una bio(s)ética. *Ludus Vitalis*. vol. XIX (36), 193-211.
- Díaz-Barriga, F. y Hernández, G. (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista. McGraw-Hill Interamericana.
- Duarte, P; Noguera, A. y Martínez, M. (2012). Prácticas innovadoras para la incorporación de la enseñanza de la Biotecnología en el aula. Memorias X Jornadas Nacionales V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. 989-992.

- Dueñas, A. (2019). El Conocimiento Didáctico del Contenido de la alimentación y la nutrición humana en profesores de Bogotá. [Tesis Doctoral]. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- Dueñas, A., Valbuena, E., Ravanal, E. y Rincón, M. (2016). Mapeo del conocimiento didáctico del contenido de la alimentación y la nutrición humana de una profesora de secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, número extraordinario, 238-245.
- Dunham, T.; Wells, J. y White, K. (2002). Biotechnology Education: A Multiple Instructional Strategies Approach. *Journal of Technology Education*, 14(1), 65-81.
- Duque, J. (2010). Biotecnología. Panorámica de un sector. España: Netbio.
- Eastwood, J. y Sadler, T. (2013). Teachers' implementation of a game-based biotechnology curriculum. *Computers & Education*, 66, 11–24.
- Echeverría, J. (2003). La revolución tecnocientífica. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Echeverría, J. (2010). Tecnociencia, tecnoética y tecnoaxiología. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(1), 142-152.
- Eggen, P. y Kauchak, D. (2009). Estrategias docentes: enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento. México: Fondo de cultura económica.
- Eleizalde, M.; Parra, N.; Palomino, C.; Reina, A.; Trujillo, I. (2010). Aprendizaje por descubrimiento y su eficacia en la enseñanza de la Biotecnología. *Revista de Investigación*, 34(71), 271-290.
- Escudero, T. (2003). La formación pedagógica del profesorado universitario vista desde la enseñanza disciplinar. *Revista de Educación*, 331, 101-121.
- España Ramos, E., y Prieto Ruz, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Revista de Investigación en la Escuela*, 71, 17-24.
- Espinel, N. y Valbuena, E. (2018). Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, 193-206.
- Esteban, S. (2003). La perspectiva histórica de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad y su papel en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), 240-246.
- Estepa, J. (2002). La investigación sobre el conocimiento profesional de los profesores para enseñar Ciencias Sociales. *Revista electrónica Cuadernos de Investigación Didáctica en las Ciencias Sociales*, 4.

- Fernández, J.; Diamante, A. y McCarthy, M. (2013). Rol de la REDBIO/FAO en el desarrollo de la biotecnología agrícola en América Latina y el Caribe. En: *Criocconservación de plantas en América Latina y el Caribe*. Gonzalez-Arno, M. y Engelmann, F. (Eds). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA): Costa Rica.
- Fernández-Balboa, J. y Stiehl, J. (1995). The generic nature of pedagogical content knowledge among college professors. *Teaching and Teacher Education*, 11(3), 293–306.
- Ferreira, A. 2007. Actualizando nuestras clases de ciencias: Estrategias didácticas coherentes con el trabajo científico. En: De Longui, A. y Echavarrianza, M. (Comp.) *Diálogo entre diferentes voces. Un proceso de formación docente en Ciencias Naturales en Córdoba – Argentina*. Córdoba: Universitas.
- Fitzsimons, P. J. (2007). Biotechnology, ethics and education. *Studies in Philosophy and Education*, 26, 1-11.
- Fonseca, G. y Martínez, C. (2013). La reflexión sobre la práctica y el CDC. Un estudio de caso con profesores de Biología en formación inicial. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas (Extra)*, 1311-1315.
- Fonseca, M.; Costa, P.; Lencastre, L. y Tavares, F. (2012). Disclosing biology teachers' beliefs about biotechnology and biotechnology education. *Teaching and Teacher Education*, 28, 368-381.
- Forero, G. (2011). Estado del Arte de la Biotecnología en Colombia. Cuaderno de investigación. Colección Gestión Ambiental. Universidad EAN. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/2666/Publicaciones.html?sequence=3&isAllowed=y>
- France, B. (2007). Location, Location, Location: Positioning Biotechnology Education for the 21st Century, *Studies in Science Education*, 43(1), 88-122.
- Friedrichsen, P. (2015). My PCK research trajectory: A purple book prompts new questions. En: Berry, A., Friedrichsen, P., y Loughran, J. (Eds.). *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. (pp. 147 – 161). Routledge.
- Friedrichsen, P., Driel, J, y Abell, S. (2011). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376.
- Furió, C., Vilches, A., Aranzabal, J. G., y Romo, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(3), 365-376.

- Furió, C., y Vilches, A. (1997). Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad. En: *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. (pp. 47-71). Barcelona: Horsori.
- García, F. (2000). Los modelos didácticos como instrumento de análisis y de intervención en la realidad educativa. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 207(18), 1-12.
- García, F. (2004). La relación ciencia y tecnología en la sociedad actual. Análisis de algunos criterios y valores epistemológicos y tecnológicos y su influencia dentro del marco social. *Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, 7, 105-148.
- García, J. (1998) Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares. Sevilla, España. Diada editira.
- García, J. y Cañal, P. (1995). ¿Cómo enseñar? Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la Escuela*, 25, 5-16.
- García-Palacios, E., González-Galbarte, J., López-Cerezo, J., Luján, J., Martín-Gordillo, M., Osorio, C. y Valdés, C. (2001). Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual. Madrid: OEI.
- Garritz, A. (2014). Creencias de los profesores, su importancia y cómo obtenerlas, *Educación Química*, 25(2), 88-92.
- Garritz, A. y Velásquez, P. (2009). Biotechnology pedagogical knowledge through Mortimer's conceptual profile. *Proceedings of the NARST 2009 Conference. Garden Groves, CA, USA*.
- Garritz, A., Daza, S., Lorenzo, M. (2014). ¿Transposición didáctica o conocimiento didáctico del contenido o conocimiento pedagógico del contenido? "A rose by any other name". Un recuerdo de Sandy Abell. En: Garritz, A (Ed.) *Conocimiento Didáctico del Contenido: una perspectiva Iberoamericana*. Alemania: Editorial Académica Española.
- Geli, A. (2000). La evaluación de los procesos y de los resultados en la enseñanza de las ciencias. En: F. J. Perales y P. Cañal. (Eds). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. (pp. 187-205). España: Alcoy Marfil.
- Gess-Newsome, J. (1999). Secondary Teachers' Knowledge and beliefs about Subject Matter and their Impact on Instruction. En: Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. (pp.51-94). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.



- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. En: Berry, A., Friedrichsen, P., Loughran, J. (Eds) *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). New York: Routledge.
- Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez, J. (1991). Cuadernos de Educación. La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. Barcelona: Ice- Horsori.
- Giordan, A. y De Vecchi, G. (1999). Los orígenes del saber: De las concepciones personales a los conceptos científicos. Sevilla: Díada.
- Gómez, D. y Nemogá, G. (2007). Ilegalidad de la investigación genética en Colombia. *Pensamiento Jurídico*, 18, 265-284.
- Gómez, M. (2011). El Protocolo de Cartagena, un llamado sordo a la precaución. *Revista Zero*. Universidad Externado de Colombia - Facultad de Finanzas, Gobierno y Relaciones Internacionales. 36 – 41. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde [http://portal.uexternado.edu.co/pdf/5\\_revistaZero/ZERO%2014/8 Gomez Protocolo Cartagena.pdf](http://portal.uexternado.edu.co/pdf/5_revistaZero/ZERO%2014/8_Gomez_Protocolo_Cartagena.pdf)
- Grossman, P. (1990). *The Making of a Teacher. Teacher Knowledge and Teacher Education*. New York: Teachers College, Columbia University.
- Grossman, P., Wilson, S. y Shulman, L. (1989). Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. En: M.C. Reynolds (ed.), *Knowledge base for beginning teacher*. New York: Pergamon Press Inc.
- Grupo Bio-Educación. (2007). La biotecnología: “Un juguete” preferido en la educación, una visión del Grupo de Investigación Bio – Educación. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 72-78.
- Grupo de incorporación de la biotecnología en la educación básica y media. (1998). Incorporación de la Biotecnología en la Educación Básica y Media. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 1(2), 67- 68.
- Hanegan, N. y Bigler, A. (2009). Infusing authentic inquiry into biotechnology. *Journal of Science Education and Technology*, 18(5), 393-401.

- Hark, A. (2008). Crossing over: An undergraduate service learning project that connects to biotechnology education in secondary schools. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 36(2), 159-165.
- Harvey, O. (1986). Belief systems and attitudes. *Journal of Psychology*, 54, 143-159.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching*, 11(3), 273-292.
- Hernández, H. (2010). Biotecnología (Editorial). *Revista Científica*, 20(3).
- Hidalgo, C. (2004). Reflexiones para decidir sobre los transgenicos. *Compendium*, 7(13), 66-71.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Hodson, D. (2014). Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases. En: Matthews, M.R. (ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 911 – 970). Dordrecht: Springer.
- Irwin, A. (2000). Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context. *Science Education*, 84(1), 5–26.
- Izquierdo, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 309-326.
- Jiménez-Aleixandre, M. (2000). Modelos didácticos. En: *Didáctica de las Ciencias Experimentales: Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. (pp. 165-186). España: Editorial Marfil.
- Kagan, D. M. (1992). Professional growth among preservice and beginning teachers. *Review of Educational Research*, 62, 129-169.
- Kamen, M. (1996). A teacher's implementation of authentic assessment in an elementary science classroom. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 33(8), 859-877.
- Kidman, G. (2009). Attitudes and Interests Towards Biotechnology: The Mismatch Between Students and Teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 5(2), 135-143.
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204.

- Kirkpatrick, G; Orvis, K y Pittendrigh, B. (2002). A teaching model for biotechnology and genomics education. *Journal of Biological Education*, 37(1), 31-35.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science & Education*, 1(3), 273-299.
- Klop, T. y Severiens, S. (2007). An exploration of attitudes towards modern biotechnology: A study among Dutch secondary school students. *International Journal of Science Education*, 29(5), 663-679.
- Krippendorff, K. (1990). Metodología de análisis de contenido. Teoría y práctica. México: Paidós.
- Lardone, L. (2009). El paradigma tecnológico informacional y la biotecnología mediatizada. Tres casos de medios impresos latinoamericanos en sus versiones electrónicas. [Tesis de Maestría]. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Latorre, M. y Blanco, F. (2007). Algunos conceptos clave en torno a las creencias de los docentes en formación. Accedido el 26 de marzo de 2017, desde <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/8093>
- Latour, (1987). Science in Action. How to follow scientists and engineers through society? Milton Keynes: Open University Press. Traducción de E. Aibar, R. Méndez y E. Penisio (1992): *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor.
- Leslie, G. y Schibeci, R. (2003). What do science teachers think biotechnology is? Does it matter? *Australian Science Teachers Journal*, 49(3), 16-21.
- Lledó, A. y Cañal, P. (1993). El diseño y desarrollo de materiales curriculares en un modelo investigativo. *Investigación en la Escuela*, 21, 10-19.
- Loughran, J.; Milroy, P.; Berry, A.; Gunstone, R.; Mulhall, P. (2001). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31, 289-307.
- Mackenzie, R., Burhenne-Guilmin, F., La Viña, A. y Werksman, J. en colaboración con Ascencio, A., Kinderlerer, J., Kummer, K. y Tapper, Richard (2004). *Guía Explicativa del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología*. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Magnusson, S., Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. En: Gess- Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.).

*Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education.* (pp. 95-132)- Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Malet, A. (2004). Cuestiones epistemológicas de la didáctica: algo está pendiente. Trabajo presentado en el Primer Congreso Internacional: Educación, Lenguaje y Sociedad. Tensiones educativas en América Latina. Universidad Nacional de la Pampa.

Marcelo, C. (1992). ¿Cómo conocen los profesores la materia que enseñan? Algunas contribuciones de la investigación sobre conocimiento didáctico del contenido. Ponencia presentada al Congreso Internacional Las didácticas específicas en la formación del profesorado (Santiago de Compostela, 6-10 julio 1992).

Marcelo, C. (2002). La investigación sobre el conocimiento de los profesores y el proceso de aprender a enseñar: Una revisión personal. En: Perafán, G. A., y Bravo, A. A. (Comp.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.

Martín del Pozo, R. y Porlán, R (1999). Tendencias en la formación inicial del profesorado sobre los contenidos escolares. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 35, 115-128.

Martínez, C. (2017). Ser maestro de ciencias: productor de conocimiento profesional y de conocimiento escolar. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Martínez, C. y Martínez, V. (2012). El conocimiento escolar y las Hipótesis de Progresión: algunos fundamentos y desarrollos. *Nodos y nudos*, 4(32), 50-64.

Massarini, A. (2012). Tecnociencia, Naturaleza y Sociedad: El caso de los cultivos transgénicos. Accedido el 24 de marzo de 2017, desde <http://andoni.garritz.com/documentos/Lecturas.CS.../Trangenicos.Tecnociencia.pdf>

Massarini, A., Carrizo, E., Corti, G., Lavagnino, N., Libertini, B., Lipko, P., Folguera, G. y Schnek, A. (2014). La enseñanza de las ciencias en el contexto latinoamericano: un enfoque pedagógico orientado a la reapropiación social de la ciencia y la tecnología. In *Paper presented at the Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*.

Melera, G. (2010). Biopoder tecnológico y procesos de Cyborgización. Póster presentado en I Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología. Disponible en: Accedido el 12 de julio de 2016, desde <http://es.scribd.com/doc/45172739/MEMORIAS-II-Congreso-Internacional-de-Investigacion-y-Practica-Profesional-en-Psicologia-XVII-Jornadas-de-Investigacion-Sexto-Encuentro-de-Investigado>

- Melo, S., Mondragón, C. y Wilches, F. (2001). Desarrollo de proyectos escolares en biotecnología. Propuesta de trabajo para la enseñanza aprendizaje de las Ciencias naturales en el nivel de educación media. Memorias XXXVI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Cartagena.
- Membriela, P. (2001). Una revisión del movimiento CTS en la enseñanza de las ciencias. En: *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. Formación científica para la ciudadanía* (pp. 91-104). España: Narcea.
- MEN (2004). Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Serie Guías N° 7. Formar en Ciencias ¡El desafío! Accedido el 03 de marzo de 2015, desde [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf)
- MEN (2017). Mallas de Aprendizaje. Documento para la implementación de los DBA. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <https://aprende.colombiaaprende.edu.co/ckfinder/userfiles/files/CARTILLA-INTRODUCTORIA .pdf>
- Ministerio de Educación (Chile), (2007). El registro: una herramienta para la sistematización de la práctica y la construcción de saber pedagógico. En: N. Galaz, Gómez, M., y Noguera, M (Ed.), Desarrollo Profesional Docente. Un marco para una enseñanza efectiva. Chile: Publicación del programa MECE Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=140093>.
- Montgomery, B. (2004). Teaching the Nature of Biotechnology Using Service-Learning Instruction. *BEE-j*, 4, November, 1-12.
- Mora, W. y Parga, D. (2008). El conocimiento didáctico del contenido en química: integración de las tramas de contenido histórico–epistemológicas con las tramas de contexto–aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis*. 24, 56 – 81.
- Mora, W. y Parga, D. (2014). Aportes al CDC desde el Pensamiento Complejo. En: Garritz, A. (Ed.) Conocimiento Didáctico del Contenido: Una perspectiva Iberoamericana. Madrid: Editorial Académica Española EAO. ISBN: 978-3-659-00562-6.
- Moreira, M. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Revista Currículum*, 25, 29-56.
- Moreland, J.; Jones, A. y Cowie, B. (2006). Developing Pedagogical Content Knowledge for the New Sciences: The example of biotechnology. *Teaching Education*, 17(2), 143-155.
- Moreno, A. G. (2006). Atomismo Vs energetismo, controversia científica a finales del siglo XIX. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 411-427.

- Morse, J. (2003) *Asuntos críticos en los métodos de investigación cualitativa*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.
- Muñoz de Malajovich, M. A. (2012). *Biotecnología*. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes. Argentina.
- Muñoz, E. (2001). *Biotecnología y sociedad: encuentros y desencuentros*. Madrid: Cambridge University Press.
- Muñoz, E. (2002). La cultura científica, la percepción pública y el caso de la biotecnología. Documento de Trabajo 02-07 del Grupo de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CSIC). Accedido el 18 de marzo de 2015, desde <http://digital.csic.es/bitstream/10261/1503/1/dt-0207.pdf>
- Muñoz, E. (2004). Los problemas en el análisis de la percepción pública de la biotecnología: Europa y sus contradicciones. En: F. J. Rubia, I. Fuentes y S. Casado (Coord.): *Percepción social de la ciencia* (pp. 127-166). Madrid: Academia Europea de Ciencias y Artes/UNED Ediciones.
- Muñoz, P. y Muñoz, I. (2000). Intervención de la familia. Estudio de casos. En: Pérez Serrano, G. (coord.) *Modelos de investigación cualitativa en educación social y animación sociocultural: aplicaciones prácticas*. (pp. 221-252). España: Narcea.
- Mweene, V.; Mumba, F. y Chitiyo, J. (2011). Elementary Education Preservice Teachers' Understanding of Biotechnology and Its Related Processes. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 39(4), 321-325.
- Naciones Unidas. (1992) Convenio sobre la Diversidad Biológica. Río de Janeiro – Brasil. Accedido el 03 de junio de 2015, desde [www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf](http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf)
- Negrín, S.; Sosa, A.; Ayala, M.; Diosdado, E.; Pérez, M.; Pujol, M.; Fernández, J.; Muzio, V.; Castellanos, L.; González, L.; Cremata, J.; Quintana, M.; Pérez, G.; Valdés, J.; Rodríguez, M.; Borroto, C.; González, C.; Morales, J.; Duarte, C.; Pérez, R.; Ubieta, R.; Costa, L.; Rosales, I.; Herrera, L. y Lage, A. (2007). Enseñanza popular de la biotecnología. *Biotechnología Aplicada*, 2(154).
- Nespor, J. (1987). The role of beliefs in the practice of teaching. *Journal of Curriculum Studies*, 19(4), 317-328.
- Niiniluoto, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.
- Nuñez, J. (1999). La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar. La Habana: Félix Varela.

- Obregoso, A.; Vallejo, Y. y Valbuena, E. (2013). El conocimiento didáctico del contenido de las ciencias naturales en docentes en formación inicial de primaria. Un estudio de caso. En: Martínez, C. y Valbuena, E. (comp.) *Conocimiento profesional del profesor de ciencias de primaria y conocimiento escolar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Occelli, M. (2013a). La enseñanza de la biotecnología en la escuela secundaria y su abordaje en los libros de texto: Un estudio en la ciudad de Córdoba. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Occelli, M. (2013b). Enseñar biotecnología en la escuela: aportes y reflexiones didácticas. *Revista boletín biológica* 27(7), 9 -13.
- Occelli, M.; García, L.; Gardenal, C. y Valeiras, N. (2014). Los organismos transgénicos y su lugar en el aula de secundaria: Un estudio en la ciudad de Córdoba (Argentina). Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva.
- Occelli, M.; Gardenal, C. y Valeiras, N. (2012) ¿Cómo se enseñan algunas temáticas biotecnológicas controvertidas? X Jornadas Nacionales V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde <http://congresosadbia.com/ocs/index.php/adbia2012/adbia2012/paper/viewFile/55/153>
- Occelli, M.; Vilar, T. y Valeiras, N. (2011). Conocimientos y actitudes de estudiantes de la ciudad de Córdoba (Argentina) en relación a la Biotecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 227-242.
- OECD. (2005). A Framework for Biotechnology Statistics. Paris.
- OEI. (2009). La biotecnología en Iberoamérica Situación actual y tendencias. Accedido el 03 de marzo de 2015, desde [http://www.oei.es/salactsi/ibero\\_bio\\_final.pdf](http://www.oei.es/salactsi/ibero_bio_final.pdf)
- OTA. Office of Technology Assessment of the Congress of the United States. (1988). U.S. investment in biotechnology - Special report. Boulder, CO: Westview Press.
- OTA. Office of Technology Assessment of the Congress of the United States. (1991). Biotechnology in a global economy. Washington DC: Government Printing Office.
- Padilla, K y Garritz, A. (2014). Creencias epistemológicas de dos profesores-investigadores de la educación superior. *Educación Química*, 25(3), 343-353.
- Pajares, M. (1992). Teachers' beliefs and educational research: cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307-332.

- Páramo, P. y Otálvaro, G. (2006). Investigación alternativa: Por una distinción entre posturas epistemológicas y no entre métodos. *Moebios*, 25, 1-7.
- Park, S. y Oliver, J. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38, 261-284.
- Park, S. y Suh, J. (2015). From portraying toward assessing PCK: Drivers, dilemmas, and directions for future research. En: *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 114-129). Routledge.
- Park, S., y Chen, Y. (2012). Mapping out the Integration of the Components of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Examples From High School Biology Classrooms. *Journal of research in science teaching*, 49(7), 922-941.
- Pedrancini, V.; Corazza-Nunes, M.; Bellanda, M.; Olivo, A. y Ribeiro, A. (2007). Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 299-309.
- Pedrancini, V.; Corazza-Nunes, M.; Bellanda, M.; Olivo, A.; Moreira, R., de Carvalho, W. (2008). Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do ensino médio sobre transgênicos. *Ciência & Educação*, 14(1), 135-146.
- Perafán, A. (2002). La investigación acerca de los procesos de pensamiento de los docentes: Orígenes y Desarrollo. En: Perafán, G. A., y Bravo, A. A. (Comp.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.
- Porlán, R. (2002). Constructivismo y escuela. Serie Fundamentos Nº 4. Colección Investigación y Enseñanza. España: Díada editorial.
- Porlán, R. y Rivero, A. (1998). El conocimiento de los profesores: una propuesta formativa en el área de ciencias. Sevilla: Diada.
- Porlán, R., Rivero, A. y Martín del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II: Estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), 271-288.
- Porlán, R., Rivero, A. y Martín del Pozo, S. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teorías, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171.



- Pozo, J. (1994). El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos. En: *Los contenidos en la reforma*. (pp. 19-80). Madrid: Santillana
- Pozo, J. y Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.
- Pozo, J. y Gómez, M. (1998). Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Ediciones Morata.
- Quintanilla, M. (1991). Tecnología: un enfoque filosófico. Buenos Aires: Eudeba.
- Quse, L. y De Longhi, A. L. (2005). ¿Qué dicen los docentes de biología del nivel medio sobre la educación CTS?: diagnóstico en Córdoba, Argentina. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 4(2).
- Rañada, A. F. (1996). *De la esencial multidimensionalidad de la ciencia*. España: Edición Las Palmas de Gran Canaria.
- Ravanal, E. y López-Cortés F. (2016). Mapa del conocimiento didáctico y modelo didáctico en profesionales del área biológica sobre el contenido de célula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 725-742.
- Reyes, J. (2013). Conocimiento didáctico del contenido y formación de profesores de física: elementos para la investigación. *Perspectivas epistemológicas, culturales y didácticas en Educación en Ciencias y la formación de profesores: Avances de investigación*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Reyes, J. y Martínez, C. (2013). Una Hipótesis de Progresión sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido respecto a las actividades de enseñanza asociadas al campo eléctrico. En: Martínez y Valbuena (comp.) *Conocimiento profesional del profesor de ciencias de primaria y conocimiento escolar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Richardson, V. (2003). Preservice teachers' beliefs. En: J. Raths, & A. R. McAninch (Eds.), *Teacher beliefs and classroom performance: The impact of teacher education*. Greenwich, Connecticut: Information Age Publishing.
- Rifkin, J. (2004). El siglo de la biotecnología: El comercio genético y el nacimiento de un mundo feliz. Barcelona: Editorial Paidós.
- Rivero, A. y Porlán, R. (2002). La naturaleza y organización del conocimiento profesional "deseable" del profesorado. Accedido el 16 de febrero de 2016, desde [www.elistas.net/lista/redires/ficheros/6/.../La%20Naturaleza%20y%20Organización](http://www.elistas.net/lista/redires/ficheros/6/.../La%20Naturaleza%20y%20Organización)

- Roa, R. (2016). Configuración del conocimiento profesional didáctico y pedagógico del profesor de ciencias para la enseñanza de la biotecnología. [Tesis Doctoral]. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- Roa, R. y Valbuena, E. (2013). Incursión de la biotecnología en la educación: Tendencias e implicaciones. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 156-166.
- Roa, R., García Y., y Chavarro C. (2008). Formación de profesores de Biología a través de la Biotecnología. *Educación y Educadores*, 11(2), 69-88.
- Roca, W. (2003). Estudio de las capacidades biotecnológicas e institucionales para el aprovechamiento de la biodiversidad en los países de la Comunidad Andina. San José, Costa Rica: IICA.
- Rokeach, M. (1968). A Theory of Organization and Change Within Value-Attitude Systems 1. *Journal of Social Issues*, 24(1), 13-33.
- Roland, F. y Kottow, M. (2001). Bioética y Biotecnología: Lo humano entre dos paradigmas. *Acta Bioethica*. Año VII, N° 2.
- Runge, A. (2013). Didáctica: una introducción panorámica y comparada. *Itinerario Educativo*, Año xxvii, N.º 62, 201-240.
- Sanmartí, N. (2002). Necesidades de formación del profesorado en función de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. *Pensamiento educativo*, 30, 35-60.
- Sanmartí, N. (2011). Evaluar para aprender, evaluar para calificar. En Cañal, P (Coord). *Didáctica de la Biología y la Geología*. (pp. 151-170) Barcelona: Editorial Graó.
- Sanmartí, N.; Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 67, 62-69.
- Sanmartín, J. (1990). La ciencia descubre. La industria aplica. El hombre se conforma. Imperativo tecnológico y diseño social. En M. Medina y J. Sanmartín (Eds.): *Ciencia, Tecnología y Sociedad* (pp. 168-180). Barcelona: Anthropos.
- Sarricolea, M. y García-Noblejas, M. (1998). Biotecnología: Aplicaciones y problemas éticos. *Cuadernos de Bioética*, 35, 547-556.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2000). Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica: texto y anexos.

Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Accedido el 26 de agosto de 2017, desde <https://www.cbd.int/doc/legal/cartagena-protocol-es.pdf>

Sentís, C. (2004). El ADN: de las metáforas a los hechos...y a la biotecnología. *Inguruak*, 40, 199-220.

Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.

Southerland, S., Sinatra, G. y Matthews, M. (2001). Belief, knowledge, and science education. *Educational Psychology Review*, 13(4), 325-351.

Stake, R. (1998). Investigación con estudio de casos. Madrid: Ediciones Morata.

Steele, F. y Aubusson, P. (2004). The Challenge in Teaching Biotechnology. *Research in Science Education*, 34, 365-387.

Tarazona, L. (2003). Tecnociencia, sociedad y valores. *Ingeniería & Desarrollo*, 14, 38-59.

Tardif, M. (2004). Los saberes del docente y su desarrollo profesional. Madrid, España: Narcea, S.A. Ediciones.

Torres, R., Macías, F. y Chaves, J. (2004). Proyecto formulación de políticas de acceso y aprovechamiento de los recursos genéticos en Colombia. Hacia un régimen de acceso a los recursos genéticos eficiente y aplicable para Colombia. Programa de Política y Legislación. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.

Trevan, M., Boffey, S., Goulding, K. y Stanbury, P. (1990). Biotecnología: Principios biológicos. Zaragoza: Acribia.

Türkmen, L. y Darcin, E. (2007). A Comparative Study of Turkish Elementary and Science Education Major Students' Knowledge Levels at the Popular Biotechnological. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2(4), 125-131.

Valbuena, E. (1998). Contribución al desarrollo de la Biotecnología desde la educación en los niveles de la básica y media. *Tecné, Episteme Y Didaxis: TED*, 4.

Valbuena, E. (2007). El conocimiento didáctico del contenido biológico: estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica

- Nacional (Colombia). [Tesis Doctoral]. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Valbuena, E. (2011). Hipótesis de progresión del conocimiento biológico y del conocimiento didáctico del contenido biológico. Parte I: referentes teóricos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 30, 30-52.
- Van Driel, J., Verloop, N., y De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- Vélez, A. y Calvo, G. (1992). Análisis de la investigación en la formación de investigadores. Nueve años de la maestría en Educación de la Universidad de La Sabana. El estado del arte o del conocimiento. Bogotá: Gráficas Sol.
- Vélez, G. (2009). Los cultivos transgénicos destruyen la biodiversidad y la soberanía alimentaria *Revista semillas*. Accedido el 18 de julio de 2016, desde <http://www.semillas.org.co/es/publicaciones/los-cultivos-transg>
- Verma, A., Agrahari, S., Rastogi, S., Singh, A. (2011). Biotechnology in the Realm of History. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 3(3), 321-323.
- Villar, L. (2002). Pensamientos de los profesores. En: Perafán, G. A., y Bravo, A. A. (Comp.). *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional - Colciencias.
- Wilches, A. (2010). La biotecnología en un mundo globalizado. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(2).
- Yin, R. (2009). Case study research: design and methods. United States of America: SAGE Publications, Inc.
- Zabala, A. (2000). La práctica educativa: cómo enseñar. España: Editorial Graó.
- Zambrano, A. (2006). Los hilos de la palabra: pedagogía y didáctica. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Zeller, M. (1994). Biotechnology in the high school biology curriculum: The future is here! *The American Biology Teacher*, 56(8), 460-462.

## ANEXOS

### Anexo 1.



**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR DE CIENCIAS  
Instrumento Representación de Contenido (ReCo) para indagar el Conocimiento Didáctico del  
Contenido Biotecnología**

Nombre \_\_\_\_\_  
*Si le resulta más cómodo utilice un pseudónimo*

*Indique la hora en que comienza a contestar este instrumento* \_\_\_\_\_

#### **INTRODUCCIÓN**

El instrumento que se utilizará a continuación se denomina Representación de Contenido (ReCo), ha sido adaptado a partir del cuestionario validado por Dueñas y Valbuena (2015), adaptado a su vez del instrumento validado por Rincón y Valbuena en 2013<sup>15</sup>, su diligenciamiento contribuirá a la caracterización de la práctica docente cuando se enseña Biotecnología.

#### **INDICACIÓN PROCEDIMENTAL**

De acuerdo con su práctica como profesor de Biotecnología, responda las siguientes preguntas de la manera más clara y sincera posible.

Las respuestas que se obtengan van a ser utilizadas únicamente con fines investigativos, en este sentido se buscará de parte de los investigadores garantizar confidencialidad.

---

<sup>15</sup> Instrumento adaptado y validado por Rincón, M.E. y Valbuena, É. (2013), a partir de Loughran, J., Milroy, P., Gunstone, R. y Mulhall, P. (2001). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Trough PaP-eRs. *Research in Science Education*. 31, 289-307

PREGUNTA 1. ¿Qué pretende cuando enseña Biotecnología a los estudiantes?

PREGUNTA 2. ¿Qué intenta que aprendan los alumnos sobre Biotecnología?

PREGUNTA 3. Cuando enseña Biotecnología, ¿cuáles son las dificultades y limitaciones que encuentra en su práctica como profesor?

PREGUNTA 4. ¿Qué conocimientos previos y/o creencias tienen sus estudiantes sobre Biotecnología?

PREGUNTA 5. ¿Cómo ha influido en su práctica docente el conocimiento que usted tiene de las creencias y/o los conocimientos previos de sus estudiantes sobre Biotecnología? (si es posible, amplíe la respuesta con un ejemplo)

PREGUNTA 6. Además de los conocimientos previos y/o creencias que sus estudiantes poseen sobre Biotecnología, ¿Qué otros aspectos de ellos tiene en cuenta para enseñar Biotecnología?

PREGUNTA 7. ¿Qué estrategias emplea cuando enseña Biotecnología? Explique sus razones.

PREGUNTA 8. ¿Por qué es importante que sus estudiantes conozcan de Biotecnología?

PREGUNTA 9. ¿Para qué enseña Biotecnología? Explique.

PREGUNTA 10. Respecto a la evaluación de los aprendizajes de Biotecnología

a) ¿Qué se evalúa?

b) ¿Cómo se evalúa?

c) ¿Para qué se evalúa?

d) ¿Quién(es) evalúa(n)?

e) ¿Cuándo se evalúa?

PREGUNTA 11. ¿Cómo influye la evaluación del aprendizaje de Biotecnología en su práctica pedagógica?

PREGUNTA 12. Cuando enseña Biotecnología, ¿tiene en cuenta aspectos históricos o epistemológicos? Si su respuesta es afirmativa explique (por qué, cómo, qué)

PREGUNTA 13. Cuando enseña Biotecnología, ¿tiene en cuenta aspectos sociales? Explique sus razones

PREGUNTA 14. Cuando enseña Biotecnología ¿Cuál es la secuencia de contenidos que implementa? Descríbala.

PREGUNTA 15. Represente en un esquema lo que enseña sobre Biotecnología

*Indique la hora en que finaliza de contestar el instrumento* \_\_\_\_\_

***Agradecemos su valiosa colaboración en esta investigación.***

## Anexo 2.



**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR DE CIENCIAS  
Instrumento para la indagación del Conocimiento sobre la Biotecnología**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### INTRODUCCIÓN

El siguiente ejercicio tiene como objetivo principal indagar el conocimiento que tienen los profesores sobre la Biotecnología.

Agradecemos su diligenciamiento y aclaramos que las respuestas que se obtengan van a ser utilizadas únicamente con fines investigativos, por lo que se buscará garantizar confidencialidad por parte de los investigadores.

### INDICACIÓN PROCEDIMENTAL

Responda las siguientes preguntas de la manera más clara posible.

1. La Biotecnología es una:

Técnica

Ciencia

Tecnología

Tecnociencia

Otra: \_\_\_\_\_

Justifique su respuesta

2. ¿Usted cree que la Biotecnología es buena o mala? ¿Por qué?

3. Para cada ítem señale con una X su nivel de acuerdo respecto a si corresponde a la Biotecnología

		Corresponde a la Biotecnología			
		Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1.	Producción de pan				
2.	Técnicas cristalográficas para determinar la estructura de las proteínas				
3.	Procedimientos de reproducción asistida por fertilización <i>in vitro</i>				
4.	Manipulación de genes				
5.	Producción sintética de hormonas de crecimiento				
6.	Obtención de plantas resistentes a la sequía mediante cruzamiento				
7.	Trasplante de riñón				
8.	Preparación de cerveza y vino				
9.	Fabricación de un corazón artificial				
10.	Cultivo de tejidos que produce piel para injertos				
11.	Clonación				
12.	Uso de rayos X para diagnóstico médico				

4. Enumere en orden cronológico (no es necesario escribir fechas) los 10 hechos o sucesos más importantes en la historia de la Biotecnología.

5. ¿En la Biotecnología se produce conocimiento? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_. En caso afirmativo explique:

a. ¿Cómo se produce este conocimiento?

b. ¿Cómo se valida este conocimiento?

6. De las siguientes opciones marque la que mejor represente su nivel de acuerdo respecto a cada oración.

		Totalmente de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1	El conocimiento de la Física se caracteriza por la postulación de leyes y teorías. Lo mismo ocurre con la Biotecnología.				
2	La Biotecnología tiene carácter interdisciplinar				
3	La Biotecnología genera controversias relacionadas con la moral y la ética				
4	El desarrollo de la Biotecnología requiere la participación de abogados				



5	En la Biotecnología se dan relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad				
6	El desarrollo de la Biotecnología requiere la participación de economistas				

7. Escriba un listado (en lo posible con temas y subtemas) de los conceptos de Biotecnología que considere fundamentales.
8. ¿En la Biotecnología se incorporan distintos campos de conocimiento? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_. En caso afirmativo escriba un listado de los campos de conocimiento (Ciencias, disciplinas, tecnologías, etc.) que están implicados en la Biotecnología, ubicando al comienzo los que tienen mayor implicación.
9. ¿Cuál es la finalidad de la Biotecnología?
10. ¿Cuáles son las implicaciones de la Biotecnología?

***Muchas gracias por su tiempo y colaboración!!***

Anexo 3.

MATRIZ ANÁLISIS DE CONTENIDO CLASES OBSERVADAS

Clase: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Profesor: \_\_\_\_\_ Asignatura o Seminario: \_\_\_\_\_ Curso: \_\_\_\_\_

CÓDIGO	EPISODIO	INTERPRETACIÓN	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍAS
			ESTRATEGIAS	
			PROPÓSITOS DE ENSEÑANZA	
			CONTENIDOS DE ENSEÑANZA	
			CONOCIMIENTO DE LOS ESTUDIANTES	
			EVALUACIÓN	
			CONTEXTO	
			NATURALEZA DE LA BIOTECNOLOGÍA	
			CREENCIAS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA	

Anexo 4.

**MATRIZ SISTEMATIZACIÓN RELACIONES ENTRE CATEGORÍAS EN LAS CLASES OBSERVADAS**

Clase: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Profesor: \_\_\_\_\_ Asignatura o Seminario: \_\_\_\_\_ Curso: \_\_\_\_\_

CÓDIGO	FRAGMENTO	CATEGORÍA ORIGEN	CATEGORÍA RELACIÓN	NIVEL DE COMPLEJIDAD – RAZÓN

Anexo 5.

MÁTRIZ ANÁLISIS DE CONTENIDO INSTRUMENTO CONOCIMIENTO SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA

Profesor: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

CÓDIGO	UNIDAD DE INFORMACIÓN	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍAS	INTERPRETACIÓN
		NATURALEZA DE LA BIOTECNOLOGÍA		
		CREENCIAS SOBRE LA BIOTECNOLOGÍA		

## Anexo 6.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Elaborando el Maestros*

### DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR DE CIENCIAS

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO MENORES DE EDAD

Se me ha explicado que en el marco del Proyecto de Educación Media Fortalecida del Colegio La Amistad IED relacionado con la enseñanza de la Biotecnología, se realizará la investigación titulada **Conocimientos Disciplinar y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá**, a cargo de Nydia Esperanza Espinel Barrero (Integrante del Grupo Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias), en la cual se observarán algunas de las clases en las que mi acudido participará en calidad de estudiante. Tengo información que en dicho estudio los alumnos de las clases observadas no serán objeto de investigación, en consecuencia, la investigación no influirá en su evaluación, puesto que se dirigirá principalmente a analizar la práctica pedagógica del profesor titular de las clases observadas.

En consecuencia, yo \_\_\_\_\_, identificado (a) con C.C. N° \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, acudiente del menor de edad \_\_\_\_\_, manifiesto que de forma voluntaria he decidido permitir que mi acudido sea observado, por lo tanto autorizo a la investigadora Nydia Esperanza Espinel Barrero para obtener información a través de la grabación de clases, en las que mi acudido esté presente.

Se me ha explicado también que tengo derecho a conocer toda la información obtenida a partir de las observaciones y que cuando termine la investigación, si lo deseo podré conocer el informe final.

Se me ha informado además que los resultados de la investigación serán obtenidos y tratados sin utilizar el nombre de mi acudido y respetando las medidas para la protección de los datos personales de los / las participantes según la normativa vigente.

Firma del Acudiente \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Firma de la Investigadora \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

## Anexo 7.



**DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN  
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR DE CIENCIAS**

---

### CONSENTIMIENTO INFORMADO ESTUDIANTES JORNADA NOCHE

Se me ha explicado que en el marco del Proyecto de Educación Media Fortalecida del Colegio La Amistad IED relacionado con la enseñanza de la Biotecnología, se realizará la investigación titulada ***Conocimientos Disciplinar y Didáctico del Contenido de profesores que enseñan Biotecnología en Bogotá***, a cargo de Nydia Esperanza Espinel Barrero (Integrante del Grupo Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias), en la cual se observarán algunas de las clases en las que participaré en calidad de estudiante. Tengo información que en dicho estudio los alumnos de las clases observadas no serán objeto de investigación, en consecuencia, la investigación no influirá en su evaluación, puesto que se dirigirá principalmente a analizar la práctica pedagógica del profesor titular de las clases observadas.

En consecuencia, yo \_\_\_\_\_, identificado (a) con C.C. N° \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, manifiesto que de forma voluntaria he decidido permitir a la investigadora Nydia Esperanza Espinel Barrero obtener información a través de la grabación de clases, en las que yo pueda estar presente.

Se me ha explicado que tengo derecho a conocer toda la información obtenida a partir de las observaciones y que cuando termine la investigación, si lo deseo podré conocer el informe final.

Se me ha informado además que los resultados de la investigación serán obtenidos y tratados sin utilizar mi nombre y respetando las medidas para la protección de los datos personales de los / las participantes según la normativa vigente.

Firma del Estudiante \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Firma de la Investigadora \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

## Anexo 8.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Escuela de Educadores*

### DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN EDUCACIÓN UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR DE CIENCIAS

---

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO PROFESOR (A) DE BIOTECNOLOGÍA

Mediante el presente documento Yo \_\_\_\_\_, identificado (a) con C.C. N° \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, manifiesto que de forma voluntaria he decidido participar en la investigación relacionada con los Conocimientos Disciplinar y Didáctico del Contenido para la enseñanza de la Biotecnología. Tengo conocimiento que en el marco del Proyecto de Educación Media Fortalecida del Colegio La Amistad IED, durante la investigación se analizará mi práctica como profesor al enseñar contenidos asociados a la biotecnología y, autorizo a la investigadora Nydia Esperanza Espinel Barrero (Integrante del Grupo Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias) para obtener información a través de la grabación de clases, entrevistas, cuestionarios, análisis de documentos y ejercicios de autorreflexión.

Manifiesto que tengo derecho a conocer toda la información obtenida a través de la investigación y, a conocer y avalar el informe final, en este sentido, manifiesto que, de no estar de acuerdo con determinada información, tengo el derecho a que la misma sea omitida.

Expreso además mi conocimiento que la información derivada de esta investigación será manejada con absoluta reserva, respetando y garantizando mi autonomía profesional y, que los resultados de la investigación serán tratados sin utilizar mi nombre ni dar señales que permitan identificarme, para lo cual se utilizará un pseudónimo.

Firma del Profesor (a) Participante \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
C. C. \_\_\_\_\_

Firma de la Investigadora \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
C. C. \_\_\_\_\_