

EL IMPULSO NERVIOSO COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO

ANGÉLICA MARÍA GONZÁLEZ NOVOA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ
2016**

EL IMPULSO NERVIOSO COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO

ANGÉLICA MARÍA GONZÁLEZ NOVOA

Trabajo de grado para optar al título de
Mágister en Docencia de las Ciencias Naturales

ASESORES

OLGA MÉNDEZ NÚÑEZ

STEINER VALENCIA VARGAS

Docentes Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales
Universidad Pedagógica Nacional

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

BOGOTÁ

2016

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN -RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	El impulso nervioso como problema de conocimiento
Autor(es)	GONZÁLEZ NOVOA ANGÉLICA MARÍA
Director	OLGA MERCEDES MÉNDEZ NÚÑEZ; STEINER VALENCIA VARGAS
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 110p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES, EL IMPULSO NERVIOSO COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO, ABANDONO DE LA OBVIEDAD, ARTIFICIALIZACIÓN DEL MUNDO NATURAL, IMPORTANCIA DE LAS ESTRUCTURAS, COMPLEJIDAD EN LAS RELACIONES, CONSTRUCCIÓN COLECTIVA.

2. Descripción
<p>El presente trabajo de profundización está inscrito dentro de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales cuyo interés es resignificar y transformar el quehacer en el aula. Se llevó a cabo dentro del campo de los estudios etnográficos en educación, los cuales permiten relieves el papel de los participantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje.</p> <p>Así, el maestro es visto como un sujeto con intereses, preguntas, propósitos, entre otros elementos, centrados en el campo disciplinar pero también en las dinámicas de su enseñanza. El estudiante por su parte, es un sujeto activo, capaz de preguntarse, elaborar hipótesis y generar explicaciones, en torno a los fenómenos naturales. La categoría trabajada dentro de este campo es la de los problemas de conocimiento. Esta categoría facilita en cada una de sus fases hacer procesos de discusión, retroalimentación, reorientación y ajustes del quehacer del maestro de forma personal y también colectiva, en cuanto al impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza. Abordar el impulso nervioso como un problema de conocimiento implica además, poner en evidencia una noción de ciencia como resultado de un proceso cultural en el que intervienen varios elementos. Permite el estudio de los seres vivos en su complejidad y no como entidades fragmentadas tal como suelen presentarse en el aula donde de manera reduccionista o simplista se transmite información.</p> <p>Los procesos desarrollados se centraron en la posibilidad de retroalimentar y reformular aspectos importantes tales como: la profundización teórica y experimental, así como el diseño e implementación de una propuesta de aula, los dos aspectos trabajados de manera progresiva y ascendente, similar a un espiral que se complejiza en su despliegue.</p>

3. Fuentes

- The Academy of 21st Century Learning*. (11 de Febrero de 2015). Recuperado el Marzo de 2016, de https://www.youtube.com/channel/UCCf1v2v15hltXYhe0II_D7g
- ALBARRACÍN, A. (1983). La condición supracelular del organismo. En A. ALBARRACÍN, *La teoría celular. Historia de un paradigma*. (págs. 265-282). Madrid: Alianza Editorial.
- ALBARRACÍN, A. (1992). *La teoría celular en el siglo XIX*. Madrid, España.: Ediciones Akal S.A.
- AUDESIRK, T. (2003). *Biología. La vida en la tierra*. México: Pearson Prentice Hall.
- AYALA, M. M., MALAGÓN, J. F., & SANDOVAL, S. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 43-54.
- BAKER, J., & ALLEN, G. (1970). *Biología e Investigación científica*. México: Fondo Educativo Interamericano.
- BERNARD, C. (1965). *La idea de la medicina experimental según Claude Bernard*. Palais de Decouverte.
- CANGUILHEM, G. (2009). *Estudios de Historia y de Filosofía de las Ciencias*. Buenos Aires: Amorrortu Editores.
- CERDA, H. (2002). *Los elementos de la investigación. Como reconocerlos, diseñarlos y construirlos*. . Bogotá: Editorial el búho. LTDA.
- CHC (Dirección). (2014). *El axón gigante del calamar* [Película].
- CURTIS, H. (2004). *Biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- DE FELIPE Javier, M. H. (2010). *Paisajes Neuronales. Homenaje a Ramón y Cajal*. Madrid, España.: Consejo superior de investigaciones científicas. Gráficas /85 S.A.
- DELACROIX, V. (s.f.). *Métodos en Neurociencias. Circuitos voltage clamp*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2016, de http://www.academia.edu/5195232/M%C3%A9todos_en_Neurociencias_Circuitos_Voltage_Clamp
- Discovery (Dirección). (2013). *Funcionamiento de las redes neuronales* [Película].
- DUARTE, D. (2014). *Tesis de grado. El crecimiento como proceso biológico. Condiciones que orientan su enseñanza en educación básica primaria*. . Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- GIORDAN, A. (1988). *Conceptos de Biología Tomo I*. Madrid: Labor.
- GIORDAN, A., & DE VECCHI, G. (1995). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Editora S.L.
- GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S., & RINDI, A. (1985). *Biological effects and dosimetry of static and ELF Electromagnetic fields*. New York: Plenum Press.
- GUIDONI, M. M. (1990). *Enseñar Ciencia. Cómo empezar: relexinones para una educación científica de base*. España: Ediciones Paidós.
- GUYTON, A. (1987). *Tratado de fisiología médica*. México, D.F: Nueva Editorial Interamericana.

- HISTORY (Dirección). (2012). *Galvani y el galvanismo* [Película].
- HODGKIN, L., & HUXLEY, F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J. Physiol*, 500 - 544.
- JEAN, G. (2000). *Bachelard, la infancia y la pedagogía*. . Bogotá: Fondo de cultura económica Ltda. .
- JIMÉNEZ, G., & PEDREROS, R. I. (2015). *El aula como sistema de relaciones. Módulo de pedagogía II*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- LATORRE, R., LÓPEZ-BARNEO, J., BEZANILLA, F., & LLINÁS, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Secretariado de publicaciones.
- LATOUR, B. (1989). Joliot:Punto de encuentro de la historia y de la física. En M. SERRES, *Historia de las Ciencias*. Madrid: Editorial Cátedra.
- MALAGÓN, J., AYALA, M. M., & SANDOVAL, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- OROZCO, J. (s.f.). *Tesis de grado. El encanto de la diferenciación. Aproximaciones con Faraday a la enseñanza de las Ciencias*. Bogotá, Colombia.: Universidad Pedagógica Nacional.
- OROZCO, J., VALENCIA, S., MENDEZ, O., JIMENEZ, G., & GARZÓN, J. (s.f.). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. *Red Académica. Universidad Pedagógica Nacional*.
- PUNSET, E. (Dirección). (2011). *Redes 108: El cerebro construye la realidad - neurociencia* [Película].
- RUDOMIN, P. (1997). La controversia Galvani - Volta sobre la electricidad animal. *Memorias de El Colegio Nacional*, 159-190.
- SALLENT DEL COLOMBO, E. (2000). Alessandro Volta: sobre la electricidad excitada por el simple contacto de substancias conductoras de distintas especies. *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 763-784.
- SEGURA, D. (2010). Información y conocimiento: Una diferencia enriquecedora. *Universidad Nacional de Colombia*.
- UNED (Dirección). (2012). *Santiago Ramón y Cajal. Arte y Ciencia* [Película].
- VALENCIA, S., MÉNDEZ, O., & JIMÉNEZ, G. (2015). *La respiración: De soplo vital a problema de conocimiento*. . Bogotá : Universidad Pedagógica Nacional.
- VALENCIA, S., MÉNDEZ, O., & JIMÉNEZ, G. (s.f.). Los saberes de la representación o de cómo imaginar la escuela. *Universidad Pedagógica Nacional*.

4. Contenidos

A continuación se presenta de forma sintética la ruta de trabajo desarrollada, teniendo en cuenta que se llevó a cabo dentro del campo de los estudios etnográficos y en la categoría de problemas de conocimiento

- **CONTEXTO PROBLEMÁTICO**

En esta parte se identifican las dificultades que pueden presentarse para el maestro durante el proceso de enseñanza de las Ciencias Naturales y su incidencia en la forma como los estudiantes la aprenden y perciben. Se resalta la importancia del papel del maestro investigador y transformador en el aula.

- **EL IMPULSO NERVIOSO COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO PARA LA BIOLOGÍA**

Esta fase se presenta en los referentes teóricos que se convierten en un ejercicio en parte de reconstrucción y también de establecimiento de relaciones del conocimiento con los contextos. La mirada reconstructiva permite identificar cuatro aspectos relevantes en la consolidación de la explicación actualmente validada en la comunidad científica frente al impulso nervioso. Estos aspectos se desarrollan bajo la denominación de: Cuando se abandona la obviedad, De cuando la electricidad fue el problema y la solución: La naturaleza del impulso, La pieza faltante: el concepto neurona y La complejidad del concepto impulso nervioso: más allá de la física y la biología.

- **EL IMPULSO NERVIOSO COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO PARA LA ENSEÑANZA**

Esta parte interrelacionada de forma directa y construida paralela a la anterior se presenta en el capítulo que hace referencia a la intervención en el aula. Se trata de la puesta en juego de una serie de construcciones que permiten mejorar la práctica docente a partir de la emergencia del impulso nervioso como problema de conocimiento.

El desarrollo ocurre en tres fases y cada una de ellas contiene una serie de actividades que a su vez se derivan en acciones, cuestionamientos y análisis seguidos de procesos de socialización.

- **CONSIDERACIONES FINALES**

Constituye el espacio de reflexión en cuanto a los aprendizajes y la trascendencia del mismo del trabajo. Entendiendo que la intención de esta propuesta no es llevar a cabo un análisis categórico del discurso de los estudiantes, ni es tampoco un ejercicio de sistematización de la producción de los niños o de sus elaboraciones. Se trata más bien de un ejercicio de producción para el maestro donde a través de la emergencia de los elementos que constituyen al impulso nervioso como un problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza se logren llevar cabo una serie de dinámicas en el aula que resulten enriquecedoras y permitan estudiar a los seres vivos en su complejidad, lo que a su vez constituye una herramienta importante del conocimiento científico.

5. Metodología

La perspectiva metodológica desarrollada está incidida por la perspectiva teórica, esto es, no son ámbitos separados o precedidos, razón por la cual los problemas de conocimiento orientan tanto lo metodológico como lo teórico. El trabajo de profundización se llevó a cabo dentro del campo de los estudios etnográficos

en educación bajo la categoría de problemas de conocimiento.

La categoría de problemas de conocimiento plantea que el maestro diseñe una intervención en el aula donde se ponga en juego la teoría, la experimentación, el trabajo en equipo, la construcción de instrumentos tales como guías, cartillas, montajes experimentales, uso de TICS, entre otros, que permitieran recolectar información para leer y comprender los desarrollos, construcciones y explicaciones de los estudiantes; esto permitió llevar a cabo una serie de procesos centrados en la posibilidad de retroalimentar y reformular aspectos cruciales para la investigación.

A partir de estos procesos se construyó un campo de inquietudes que llevaron a la profundización en dos sentidos: el primero, El impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología. Y el segundo, El impulso nervioso como problema de conocimiento para la enseñanza.

6. Conclusiones

Uno de los aspectos más importantes cuando se finaliza un trabajo de profundización como el que se llevó a cabo es la reflexión en cuanto a los aprendizajes y la trascendencia del mismo. En particular, significó reflexionar en el quehacer en el aula, abrir nuevos espacios y formas de acercarse al conocimiento, abandonar lo plano del discurso de un fenómeno descubierto para acercarse a un desarrollo, una construcción, producto de una dinámica histórica de producción científica condicionada por los contextos socioculturales.

Se trató de un ejercicio de producción para el maestro donde a través de la emergencia de los elementos que constituyen al impulso nervioso como un problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza se logren llevar cabo una serie de dinámicas en el aula que resulten enriquecedoras y permitan estudiar a los seres vivos en su complejidad, lo que a su vez constituye una herramienta importante del conocimiento científico. Lo anterior planteó nuevas exigencias con cada hallazgo, en otras palabras, el maestro aquí es dinámico, se pregunta, se cuestiona, reflexiona, reorienta y evalúa la pertinencia de lo que hace lo cual se corresponde a la propuesta.

El valor de este trabajo también se refleja en la elaboración de situaciones de estudio que recuperan la experiencia cotidiana de los estudiantes, potencian su capacidad de asombro, así como su habilidad para diseñar artefactos, elaborar explicaciones y movilizar su interés por el trabajo en la clase de ciencias. Aquí lo experimental, las analogías, el uso de las herramientas ofimáticas van a permitir aproximarlos y contextualizarlos superando lo puramente simbólico que se traduce al plano de lo informativo y no de lo comprensible.

A través del análisis del proceso de reconstrucción teórica y la propuesta de aula, fue posible determinar cuatro elementos importantes en la constitución del impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza: La importancia de cuestionar la experiencia, la artificialización de los fenómenos naturales, la importancia de aprender con el otro, el alcance de las estrategias.

La importancia de cuestionar la experiencia:

Preguntarse y convertir lo que ocurre en un fenómeno de estudio es una constante en la historia de la ciencia. En este caso, los primeros cuestionamientos surgieron del interés personal por el impulso nervioso y su enseñanza. Sin embargo, conforme se avanzó en el proceso de reconstrucción histórica e indagación los saberes que se creían claros también se cuestionaron, aparecieron elementos que no se habían percibido y fue necesario generar más preguntas y relaciones de las que inicialmente se pensaron,

lo cual propició un fortalecimiento de dichos saberes y el reconocimiento acerca de la importancia de preguntarse, de ir más allá de lo que se cree como cierto.

En el aula las estrategias trabajadas, permitieron hacer evidente los elementos de explicación de los niños, las relaciones preliminares y su lenguaje, lo que en principio brindó pautas de la ruta a seguir y reafirmó la importancia de construir el fenómeno, el problema del impulso, y así evitar que pasara desapercibido para los estudiantes, tal como durante mucho tiempo fue desapercibido por la Ciencia o se limitó a explicaciones ya dadas.

La necesidad de artificializar el mundo natural

El uso de analogías y posteriormente de la microscopía logró recrear el asunto de la electricidad, la acción de las sales en la conducción y la conducción en sí misma. También permitieron poner en evidencia la estructura nerviosa de lo macro a lo micro y a través de ello se logró establecer relaciones con los procesos fisiológicos, y transitar por el fenómeno al finalizar su construcción sin disociar la estructura de la función y de las condiciones que se requieren para ello.

Las herramientas tecnológicas como las tabletas, la red de internet, las páginas y sitios web especializados, también fueron aportantes ya que permiten recrear momentos de la historia con imágenes claras, computarizadas o tomadas en directo y son útiles para llevar al aula situaciones que no son posibles de realizar allí.

La importancia de aprender con el otro

El interés por comprender cómo el impulso nervioso se constituyó en un problema de conocimiento para la Biología planteó un ejercicio personal de cuestionarse, poner en duda ciertas ideas, ampliar las búsquedas; pero también un ejercicio en lo colectivo, en espacios de discusión que permitieron intercambiar saberes y construcciones. Estos espacios abiertos también en la propuesta de aula, fueron pensados por el maestro para estimular en principio la confrontación de ideas e intercambiar inquietudes entre los estudiantes con relación a sus observaciones y a las construcciones que se iban llevando a cabo en el paso a paso.

Cada sesión era enriquecedora porque facilitaba el diálogo de saberes y se dio paso a lo que podríamos denominar valores agregados a la construcción del problema de conocimiento en sí mismo, como la escucha, la tolerancia, el respeto por la diferencia, la seguridad y reconocer el valor del otro para el crecimiento académico.

El impulso nervioso más que una definición, un problema que amerita ser abordado

Cuando se inició el trabajo de profundización había un interés centrado en cómo dinamizar y transformar la práctica en el aula para abordar el concepto de impulso nervioso. Sin embargo, a medida que el trabajo de reconstrucción histórica e indagación iba avanzando, se hizo evidente la constitución no sólo de un concepto sino de un problema de conocimiento para la biología y para la enseñanza de las Ciencias.

Para los estudiantes el impulso nervioso también se constituyó en un problema de conocimiento, que permitió además desarrollar, potencializar o adquirir una serie de elementos importantes para el aprendizaje de las ciencias como: El planteamiento de hipótesis, las analogías que permitieron acercarlos a los fenómenos pero con ello indagar, inferir, relacionar y establecer comparaciones. Llevaron a cabo procesos continuos de análisis y explicación desde las actividades iniciales logrando comunicar sus inquietudes y sus hallazgos.

Elaborado por:	GONZÁLEZ NOVOA Angélica María
Revisado por:	MÉNDEZ NÚÑEZ Olga Mercedes VALENCIA VARGAS Steiner

Fecha de elaboración del Resumen:	08	11	2016
--	----	----	------

TABLA DE CONTENIDO

1. CONTEXTO PROBLEMÁTICO	1
1.1 Delimitación del problema	5
2. OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3. PROCEDER METODOLÓGICO	9
3.1 Propuesta metodológica.....	10
3.2 Desarrollo metodológico	12
3.2.1 Convergencia de intereses.....	13
3.2.2 El impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología.....	14
3.2.3 El impulso nervioso problema de conocimiento para la enseñanza	17
4. REFERENTES TEÓRICOS	25
4.1 Cuando se abandona la obviedad.....	27
4.2 De cuando la electricidad fue el problema y la solución: la naturaleza del impulso.....	32
4.3. La pieza faltante: el concepto neurona	43
4.4 La complejidad del concepto impulso nervioso: más allá de la física y la biología.....	49
5. INTERVENCIÓN EN EL AULA	56
5.1 FASE I. Mi cuerpo responde a los estímulos	57
5.2 FASE II La naturaleza del impulso nervioso (Ver Tabla 2).....	69
5.3 FASE III El impulso nervioso como problema de conocimiento (Ver tabla 4)	78
6. CONSIDERACIONES FINALES.....	92
7. BIBLIOGRAFÍA	107
8. ANEXOS	110

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estrategias utilizadas para el trabajo con los problemas de conocimiento basada en la publicación de Orozco y otros. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN)	19
Ilustración 2 Herramientas para el trabajo en aula. Elaborado con base en la información descrita en Orozco y otros. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN).....	24
Ilustración 3. Herramientas para el trabajo en aula. Elaborado con base en la información descrita en Orozco y otros. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN)	24
Ilustración 4 . Diagrama de síntesis sobre el abandono de la obviedad para la reconstrucción teórica del impulso nervioso.	31
Ilustración 5 El hallazgo accidental de Galvani. Ilustración tomada de Sirol, 1939 citado por Rudomín, 1997.....	35
Ilustración 6 Comparación entre la teoría de Galvani (G) y la teoría especial de electricidad por contacto de Volta (Vs). Tomado de M. Pera, 1992 Fig. 4.4, citado por Rudomín, 1997.	37
Ilustración 7. Dibujos hechos por Du Bois Reymond para ilustrar sus ideas sobre la corriente eléctrica del nervio. Tomado de (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996) Fig. 8.8	40
Ilustración 8. Arriba aparato usado por Helmholtz para medir la velocidad de conducción del impulso nervioso. Abajo el cambio en el potencial de acción del nervio ciático de rana cuando es estimulado a diferentes distancias del músculo. Tomado de (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996) Fig. 8.10	42
Ilustración 9 A la izquierda dibujo realizado por Gerlach 1871 para explicar su teoría reticular (células nerviosas de la médula espinal del buey teñidas con carmín amoniacal. A la derecha primera ilustración realizada por Cajal de una preparación histológica (cerebelo de gallina) con el método Golgi. Tomada de Cajal 1888. (DE FELIPE Javier, 2010) Fig 7 y 14 respectivamente.	47
Ilustración 10. Dibujo realizado por Cajal para mostrar la marcha de los impulsos nervioso en una célula piramidal mutilada. Tomada de Cajal (1914 ^a , Fig 281) (DE FELIPE Javier, 2010) Fig 1949	
Ilustración 11. Control de voltaje en el axón gigante del calamar.	53

Ilustración 12. Figura realizada por Hodgkin y Huxley que muestra la solución numérica de una de sus ecuaciones en la que se muestra los componentes que intervienen (g_{Na} y g_{K}) en la conductancia de la membrana (g) durante la propagación del potencial de acción. (HODGKIN & HUXLEY, 1952)54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de actividades fase I	58
Tabla 2 Resumen de actividades fase II	70
Tabla 3. Gráficas elaboradas por los estudiantes a partir del trabajo experimental de analogía con circuitos y alas de pollo	73
Tabla 4. Resumen de actividades fase III.....	79
Tabla 5 Gráficas de los estudiantes para explicar el movimiento de la rana.	105

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de profundización nace de los cuestionamientos personales por la labor docente y la posibilidad de dinamizar el trabajo de aula dentro de las clases de Ciencias Naturales. Está inscrito dentro de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales cuyo interés es precisamente resignificar y transformar el quehacer en el aula.

Se llevó a cabo dentro del campo de los estudios etnográficos en educación, los cuales permiten relieves el papel de los participantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Así, el maestro es visto como un sujeto con intereses, preguntas, propósitos, entre otros elementos, centrados en el campo disciplinar pero también en las dinámicas de su enseñanza. El estudiante por su parte, es un sujeto activo, capaz de preguntarse, elaborar hipótesis y generar explicaciones, en torno a los fenómenos naturales. La categoría trabajada dentro de este campo es la de los problemas de conocimiento.

Esta categoría facilitó en cada una de sus fases hacer procesos de discusión, retroalimentación, reorientación y ajustes del quehacer del maestro de forma personal y también colectiva, en cuanto al impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza. Los procesos desarrollados se centraron en la posibilidad de retroalimentar y reformular aspectos importantes tales como: la profundización teórica y experimental, así como el diseño e implementación de una propuesta de aula, los dos aspectos trabajados de manera progresiva y ascendente, similar a una espiral que se complejiza en su despliegue.

El desarrollo, así como los resultados obtenidos en esta profundización se presentan en tres capítulos, seguidos del contexto problemático, de los cuales los dos primeros son alternos y el

último constituye una serie de consideraciones finales producto del análisis y la conjunción de los dos primeros.

Dentro del contexto problemático se han tenido en cuenta las dificultades que surgen en el aula durante la enseñanza de la Biología tales como: la densidad de los programas educativos, la facilidad de la transmisión y la zona de calma que ésta representa, el papel del maestro como investigador y constructor de su saber y de su saber en el aula.

El capítulo siguiente hace referencia a la reconstrucción e indagación teórica que permitió la constitución del impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología y se presenta bajo la denominación de: Cuando se abandona la obviedad, De cuando la electricidad fue el problema y la solución: la naturaleza del impulso, La pieza faltante: el concepto neurona y La complejidad del concepto impulso nervioso: más allá de la física y la biología.

Posteriormente se presenta la propuesta de aula y los hallazgos relevantes en torno a la problemática identificada. Estos se llevaron a cabo en tres fases: Mi cuerpo responde a los estímulos, La naturaleza del impulso nervioso, El impulso nervioso como problema de conocimiento. De cada una de ellas se derivan una serie de actividades que facilitaron la constitución del impulso nervioso como problema de conocimiento para la enseñanza.

Teniendo en cuenta que la indagación y reconstrucción teórica es alterna a la propuesta de aula, el último capítulo presenta una serie de consideraciones finales, producto del análisis conjunto entre ellas, los hallazgos, las discusiones, la retroalimentación, la experiencia personal y colectiva, el alcance de los objetivos y la posible solución a la pregunta problema: **¿Cómo el impulso nervioso puede constituirse en un problema de conocimiento para las Ciencias Naturales y para su enseñanza?**

1. CONTEXTO PROBLEMÁTICO

La enseñanza de la biología ha estado ligada con una gran cantidad de palabras, definiciones y conceptos que no siempre están relacionados de forma clara y son mezclados sin tener en cuenta sus contextos. Esto puede sobrecargar a los estudiantes y es común que las personas recuerden sus clases llenas de palabras extrañas que aprendieron de forma repetitiva pero sin sentido alguno o de forma poco útil. En la experiencia personal como docente se identifican algunas razones que pueden conducir a ello:

- **La densidad de los programas académicos.** Generalmente los programas de Ciencias Naturales en la básica y la media están sobrecargados de temas, logros, desempeños que son direccionados por las políticas educativas desde los estándares y evaluados por las pruebas estatales. En muchas instituciones educativas se lleva a cabo un control sobre el cumplimiento de ellos, los alcances y lo que queda como saldo pendiente para el siguiente año, al cual se llegaría con un déficit de tiempos y temas. Los maestros entonces son conducidos a su cumplimiento, y en una carrera por su alcance termina dando prioridad al contenido en términos de cantidad y no de calidad, de profundización teórica que aporte de manera más productiva al desarrollo de procesos y habilidades propias de las Ciencias. Como consecuencia de lo anterior, los estudiantes que aparentemente vieron muchos contenidos realmente pasan por alto el desarrollo conceptual y se limitan a memorizarlos periódicamente para sus evaluaciones o actividades.
- **Seres vivos fragmentados.** Los temas trabajados en Ciencias Naturales suelen segmentarse y las unidades se abordan de forma independiente por lo que se presenta a los estudiantes una visión fragmentada de los seres vivos y sus procesos. Así cada cierto

tiempo los estudiantes dan cuenta de un sistema cualquiera que este sea, nervioso, circulatorio, o de un proceso que no siempre se relaciona con el anterior o el siguiente.

- **La facilidad de la transmisión.** Aunque actualmente haya debates en torno a la didáctica y al quehacer del maestro dentro del aula, la práctica de transmitir para que los estudiantes repitan juiciosamente sigue priorizándose en la enseñanza. Y lo sigue siendo porque brinda ventajas en términos de tiempo porque la clase se desarrolla con mayor rapidez, evita desorden porque cuando se llevan a cabo actividades en el aula que implican diálogos o construcción como equipo, éstas generan un aparente desorden que choca con el concepto disciplina e incluso con el de manejo de grupo. Hace más fácil el manejo con grupos grandes, el maestro explica, los niños atienden y copian, no hay caos en el aula.
- **La zona de calma.** Si la estrategia ha funcionado durante años no hay por qué cambiarla. Si se ha logrado que repitan la información, que pasen las evaluaciones, aunque éstas también soliciten la repetición de la información no tienen sentido modificar el quehacer. Para los maestros igual que ocurre con cualquier humano salir de la zona de confort es un paso difícil porque implica cambios, riesgos e incertidumbres que no siempre se quieren asumir. Si se entiende que cada año los estudiantes son diferentes, que han vivido en un mundo con situaciones diferentes, en contextos particulares, sumado al bombardeo de la tecnología y la información también se entiende que la repetición y la permanencia no conduce a construir conocimiento o a darle sentido a lo que se aprende. Más bien lleva al aburrimiento, la desmotivación y el aprendizaje momentáneo.
- **El papel del maestro como investigador y constructor de su saber y del saber en el aula.** En este punto hay varios elementos importantes para el maestro, el primero es que se asuma como investigador de su actividad en el aula, que se observe, se pregunte,

cuestione su quehacer y lo modifique en virtud de mejorar su proceder. El segundo es que sea constructor de su saber, que reconstruya, indague, se cuestione, que no abandone lo disciplinar de su enseñanza. Un maestro que asuma los riesgos colectivos de propositividad, azar y transformación expuestos por MORIN citado por (VALENCIA, MÉNDEZ, & JIMÉNEZ) “Riesgos de propositividad, como apuestas que el maestro realiza con la certidumbre de su práctica y con el riesgo de convertirla en un acto creativo. Riesgos de azar, como la expresión de una conciencia vigilante de sus propias acciones. Riesgo de transformación, que le permiten asumirse como protagonista de los nuevos sentidos que fortalecen su acción pedagógica” Que comprenda a la ciencia como producto cultural por tanto inacabado y complejo. Cuando el maestro tiene la mirada simplista de los seres vivos y sus funciones o relaciones es justamente esa mirada la que transmite a sus estudiantes. La mirada del libro de texto que le ayuda en sus clases es una mirada generalmente reduccionista que pasa por alto la historicidad y las múltiples relaciones que suceden cuando emerge un concepto y es precisamente esa mirada la que los estudiantes aprenden y repiten de igual forma. Sin ese interés de construcción personal es muy probable que tampoco se dé el interés de construir en el aula, de complejizar, de explicar, entonces la Biología serán muchas palabras con poco sentido.

Frente a lo anterior existe la necesidad de abrir espacios de reflexión en torno a los procesos de enseñanza de las Ciencias Naturales para permitir cuestionar, evaluar y replantear procesos, relaciones y estrategias, que eviten seguir confundiendo la información con el conocimiento.

No hay duda de la importancia de la información en el proceso de enseñanza, pero ésta tal como lo afirma Segura, es más una fuente del conocimiento y no la considera suficiente para orientar la acción. Su utilización depende del sujeto y el contexto en el que se desenvuelve (SEGURA,

2010). Es valiosa porque permite al docente identificar las ideas de los estudiantes, pero no es el fin último del proceso ni lo que se debe transmitir para que el estudiante lo reproduzca de forma exacta.

Para superar la barrera de la información y abandonar el trabajo especulativo se hace necesario un trabajo de profundización y reconstrucción histórica y epistemológica en el cual se posibiliten espacios de diálogo del maestro con su saber, pero a la vez con otros maestros y de esta forma discutir, retroalimentar, preguntarse, indagar acerca del fenómeno en estudio.

La consecuencia esperada de este proceso es que el maestro encuentre suficientes elementos en ese ejercicio de indagación que le permitan modificar su práctica y poner en juego otros elementos.

Al afectar su quehacer en el aula es posible que el maestro busque abrir espacios que permitan a los estudiantes cuestionarse, elaborar hipótesis y explicaciones, trabajar en equipo, escribir, dibujar, analizar, argumentar, construir, entre otros aspectos, relevantes para el aprendizaje de las Ciencias.

La intervención en el aula que complementa y enriquece este trabajo de profundización, se llevó a cabo en la Institución Educativa Distrital Reino de Holanda con estudiantes de grado octavo jornada mañana. Esta población se caracteriza por presentar dificultades importantes para los procesos de observación, indagación, relación y explicación de los fenómenos en Ciencias Naturales. Son poco participativos frente al grupo, se muestran inseguros. Manifiestan que la biología es compleja y densa, aunque no evidencian apatía en las clases.

1.1 Delimitación del problema

Identificar dificultades como las anteriores compromete al maestro de ciencias en la búsqueda de opciones más significativas para su práctica pedagógica. En este contexto, el programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales aporta elementos para que el maestro pueda pensarse en un espacio de aula diferente y lo pueda poner en marcha con sus estudiantes, es la búsqueda de enriquecer su labor y mejorar el proceso de enseñanza- aprendizaje de las Ciencias. Este trabajo de grado vincula un ejercicio de profundización teórica junto con la intervención en el aula, que se recoge de las siguientes inquietudes:

- Existen fenómenos que en su desarrollo histórico han articulado saberes de diferentes áreas del conocimiento y que cuando se asumen en el aula por el maestro se adjudican a un solo espacio disciplinar, esto unido a la falta de contexto histórico del maestro, conduce a una visión superficial y fragmentada del fenómeno y, por ende, de los seres vivos.

El asunto del impulso nervioso y su fisiología en particular requiere del manejo de aspectos físicos y químicos además de los biológicos que generalmente en el aula se pasan por alto o se convierten en un asunto de información para los estudiantes, lo que ocasiona en ellos dificultades para abordarlos como un todo¹.

¹ Este abordaje implica apartarse del mecanicismo. Las visiones mecanicistas para explicar a los seres vivos, arraigadas hasta finales del siglo XVII serían cambiadas frente a las necesidades de explicarlos desde la fisiología, tal como lo afirma Francois Jacob en su texto sobre el mecanicismo: “Un cuerpo vivo no es simplemente una asociación de elementos , una yuxtaposición de órganos que funcionan: es un conjunto de funciones que responden cada una a exigencias precisas” y más adelante lo reafirma cuando describe las condiciones que éstos cumplen para ser considerados como vida: “Lo que da sus propiedades a los seres vivos es un juego de relaciones que unen secretamente las partes para que funcione el todo; es la organización oculta tras la estructura visible”

- Otro aspecto importante es la visión del docente frente a los conceptos biológicos. Si se desconocen los procesos de construcción, las preguntas que en contextos diferentes se hicieron en torno a estos y las circunstancias que rodearon su desarrollo, el maestro estaría pensando en una ciencia centrada más en definiciones asertivas que en los procesos de explicaciones, una ciencia que descubre no que construye y está contextualizada. Un concepto tan complejo como el de impulso nervioso no puede ser el resultado de un descubrimiento momentáneo, deben existir una serie de prácticas, circunstancias, instrumentos que facilitaron su emergencia y que el maestro desconoce y por tanto no las trasciende a su práctica pedagógica.
- El maestro no evidencia en sus acciones tener claro el sentido de por qué se enseña ciencias y para qué lo hace. Se da relevancia a enseñar lo que se encuentra en el programa y no a que los estudiantes hagan una explicación frente al fenómeno que se aborda. De este modo, los estudiantes tienden a repetir lo que han escuchado o leído del impulso nervioso sin complejizarlo, sin relacionarlo con los aspectos físicos y químicos. Sin tener la noción de una Ciencia que construye como proceso cultural no habrá preguntas que hacerse porque el concepto se presenta de ese modo ya terminado, ya elaborado, se muestra el resultado final y no se dimensiona su proceso de construcción o las relaciones de conocimiento que se requieren para su comprensión.

Compete al maestro, entonces, reconocer las dificultades en la enseñanza de las ciencias, delimitar cuáles son sus intereses teóricos y articular unos y otros. Es necesario no limitar la mirada disciplinar, reconocer la historicidad, los contextos, las prácticas, las teorías que permitieron la emergencia del impulso nervioso y así el sentido de su enseñanza en el

aula, es decir, lograr significar el proceso, entender y constituir al impulso nervioso como un problema de conocimiento en biología y en su enseñanza, por lo cual surge la siguiente pregunta:

¿Cómo el impulso nervioso puede constituirse en un problema de conocimiento para las Ciencias Naturales y para su enseñanza?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Dar cuenta de las condiciones históricas que hicieron del impulso nervioso un problema de conocimiento para la biología, con el fin de derivar criterios para su enseñanza.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión histórica para identificar elementos teóricos y experimentales que definieron las explicaciones sobre el impulso nervioso.
- Diseñar e implementar una propuesta de aula que aporte a constituir el impulso nervioso como problema de conocimiento.

3. PROCEDER METODOLÓGICO

Entendiendo el aula como un espacio complejo de significación en el cual cobra sentido la relación del sujeto consigo mismo y con el mundo, es necesario llevar a cabo procesos de investigación o profundización que permitan al maestro cuestionar su práctica y volver sobre ella para transformarla o resignificarla. “Pensar el aula como un sistema complejo del que emergen nuevas formas de imaginar la vida escolar, es asignarle una condición ideológica, donde los sujetos que allí se relacionan contribuyen a construir nuevos sentidos culturales, inventar nuevas subjetividades y como tal generar posibilidades para existir creativamente. (JIMÉNEZ & PEDREROS, 2015)

Abordar el impulso nervioso como un problema de conocimiento implica poner en evidencia una noción de ciencia como resultado de un proceso cultural en el que intervienen varios elementos. Permite el estudio de los seres vivos en su complejidad y no como entidades fragmentadas tal como suelen presentarse en el aula donde de manera reduccionista o simplista se transmite información. En su artículo (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN) a partir de la crítica a la mirada simplista de los fenómenos naturales proponen que “Sólo a partir de la crítica de las estrategias espontáneas de conocer se puede configurar una mirada más detallada de los fenómenos y se avanza en la comprensión de las condiciones que hacen posible su emergencia”. Dicho de otro modo, los análisis de los procesos que permiten a los sujetos conocer, pueden brindar herramientas valiosas para el maestro, que promuevan espacios de explicación y construcción de representaciones. La propuesta que ha venido construyendo el grupo Eco–perspectivas de problemas de conocimiento, se plantea como una perspectiva pedagógica y didáctica para la enseñanza de las ciencias que tiene en cuenta el saber y

compromiso del maestro de Ciencias como base fundamental para orientar las prácticas de enseñanza. “El maestro deja de ser un distribuidor de saberes, para ser concebido como un posibilitador de dinámicas de transformación cultural y como un intelectual ideológicamente comprometido” (VALENCIA, MÉNDEZ, & JIMÉNEZ) Algunos de los referentes pedagógicos que tienen que ver con asumir la construcción en el aula de los problemas de conocimiento son: la constitución de sujetos sociales de conocimiento y con ello la emergencia de subjetividades y hacer significativa la actividad del aula.

3.1 Propuesta metodológica

El presente trabajo está inscrito dentro de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales que está instalada en el campo de la educación y tiene como propósito hacer de la práctica del maestro, una práctica intencionada y orientada a la resignificación y transformación de su quehacer en el aula, entendiendo a las Ciencias Naturales como el resultado de un proceso de construcción cultural. La perspectiva metodológica desarrollada está incidida por la perspectiva teórica, esto es, no son ámbitos separados o precedidos, razón por la cual los problemas de conocimiento orientan tanto lo metodológico como lo teórico. El trabajo de profundización que se llevó a cabo se encuentra dentro del campo de los estudios etnográficos en educación, en el cual se reconoce el papel de la interacción comunicativa para la elaboración de construcciones conceptuales y de relaciones en el aula. “la etnografía adopta una actitud abierta y flexible, lo cual permite concebir el trabajo investigativo como un proceso permanente de descubrimiento y comprensión de la realidad que estudia, de reflexión teórica sobre la misma, de construcción del objeto de la investigación y de hallazgos inesperados que se traduzcan en problemas nuevos que enriquezcan un estudio” (CERDA, 2002).

Este campo a su vez permite relieves el papel de los participantes en el proceso de enseñanza – aprendizaje. De esta manera el maestro es visto como sujeto con intereses, propósitos, fines y metas en torno a la formación disciplinar y personal del estudiante pero a la vez situado críticamente frente a la normatividad, que le permita tener un papel activo y proponente frente a sus dinámicas de enseñanza. El estudiante como sujeto activo, con capacidad de aprendizaje, con intereses, curiosidades, propuestas y explicaciones en torno a los fenómenos del entorno natural.

La categoría de problemas de conocimiento plantea que el maestro diseñe una intervención en el aula donde se ponga en juego la teoría, la experimentación, el trabajo en equipo, la construcción de instrumentos tales como guías, cartillas, montajes experimentales, uso de TICs, entre otros, que permitieran recolectar información para leer y comprender los desarrollos, construcciones y explicaciones de los estudiantes. A su vez, facilitó en cada una de sus fases hacer procesos de discusión, retroalimentación, reorientación y ajustes del quehacer del maestro de forma personal y también colectiva.

El estudio de las condiciones históricas y epistemológicas que han hecho de ciertas situaciones, objetos y fenómenos del mundo natural problemas de conocimiento para las ciencias, permite reconocer que en este proceso se involucran estrategias comunes que no son secuenciales: El cuestionamiento de la experiencia básica, la artificialización del mundo y la complejización de relaciones (VALENCIA, 2003.). Cuando se cuestiona la experiencia básica, se pasa de la obviedad de los fenómenos y se instala al pensamiento en la búsqueda de comprender “es la instancia desde la cual el sujeto adquiere un sentido renovado del fenómeno, duda de las analogías primeras, enriquece las metáforas y complejiza las relaciones” (VALENCIA, MÉNDEZ, & JIMÉNEZ, 2015). La formulación de cuestionamientos y el control de los fenómenos para obtener respuesta a ello, obliga a delimitar porciones de la naturaleza y poder

describir su comportamiento, esto es, se artificializa el mundo natural “el sujeto construye el fenómeno en la medida que da cuenta de las condiciones que permiten su existencia” (VALENCIA, MÉNDEZ, & JIMÈNEZ, 2015) Esta construcción del fenómeno va a permitir reconocer las limitaciones y el carácter fragmentado de las descripciones así como las posibilidades de continuidad de las explicaciones “en esta instancia se constatan los límites del pensamiento científico, el carácter restringido y suplementario de las teorías y la imposibilidad de atrapar el mundo en el discurso” (VALENCIA, MÉNDEZ, & JIMÈNEZ, 2015). Este proceder metodológico se fundamenta en la construcción del conocimiento, con bases epistemológicas e históricas de manera que las actividades, procesos y caminos bajo los cuales se orientó el trabajo de grado se focalizaron en la descripción de lo individual, lo distintivo, la existencia de diferentes explicaciones para el impulso nervioso, lo cual implica considerar que los postulados de una teoría son válidos únicamente en un espacio y tiempo determinados. Aquí el maestro transformador de su práctica centra su profundización en la realidad con el fin de captarla y comprenderla.

3.2 Desarrollo metodológico

Para la realización de este trabajo de profundización se llevaron a cabo una serie de procesos centrados en la posibilidad de retroalimentar y reformular aspectos cruciales para la investigación tales como: la profundización teórica y experimental, así como el diseño e implementación de la propuesta de aula. Aunque en su exposición parezca así, estos procesos no se desarrollan de forma lineal, sino de manera progresiva y ascendente, similar a un espiral que se complejiza en su despliegue.

3.2.1 Convergencia de intereses

El supuesto base de asumir el conocimiento como una construcción social e intersubjetiva no es sólo un referente para el caso del aula, sino que se asume como una impronta para toda construcción de explicaciones. En este sentido, el trabajo cooperativo, la discusión colectiva, el ejercicio de comunicar y para ello decantar y sopesar la relevancia de las ideas que se iban logrando a lo largo del trabajo estuvo todo el tiempo vinculado al espacio de encuentro en la asesoría. En este espacio, tanto asesores como los maestros autores de los dos trabajos desarrollados:

- El impulso nervioso como problema de conocimiento
- Y la metamorfosis como problema de conocimiento

Compartieron las búsquedas y disfrutaron los hallazgos, al estilo de lo que manifiesta Bruno Latour en su artículo sobre Joliot, donde los intereses que en un comienzo pueden parecer distantes, tocan un punto donde se interceptan permitiendo explicar la emergencia de un trabajo científico a lo cual denominó traducción *“la traducción consiste en aunar dos intereses...lo importante en este tipo de operación de traducción no es únicamente la convergencia de intereses, sino la composición de un nuevo elemento”* (LATOURE, 1989) Así, el espacio de asesoría, facilitó la construcción de un campo de inquietudes que llevaron a la profundización en dos sentidos: el primero **El impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología. Y el segundo, El impulso nervioso cómo problema de conocimiento para la enseñanza.**

3.2.2 El impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología

En esta parte se llevó a cabo una indagación disciplinar, histórica y epistemológica de las condiciones que hicieron posible que el impulso nervioso sea un objeto de conocimiento de la Biología. Si bien es cierto que en muchos casos las explicaciones los asumen como sancionados y “verdaderos” es necesario tener en cuenta las condiciones históricas que llevaron a su legitimación, las preguntas que respondieron, las búsquedas por las que transitaban quienes acuñaron términos, las técnicas que afinaron para evidenciar otros elementos aportantes en las explicaciones, la relación de la construcción con los contextos teóricos y los avances tecnológicos. Esto permite a su vez acercarse a la dinámica de la transformación de las Ciencias Naturales como las conocemos hoy en día.

Fases

Las fases descritas a continuación, fueron permanentes durante todo el proceso y su ejecución fue dependiente de los avances o inquietudes surgidas.

A. Espacios de discusión y establecimiento de acuerdos permanentes:

Durante todo el desarrollo de la profundización y de manera regular se establecieron espacios de discusión, retroalimentación y preguntas en torno a los avances y reconstrucción histórica y epistemológica del impulso nervioso. Este espacio tal como ocurrió inicialmente estuvo acompañado por los asesores y la docente mencionada anteriormente. Se desarrollaron discusiones en torno por ejemplo, a la controversia entre Galvani y Volta centrando las aportaciones a la naturaleza eléctrica del impulso, el momento histórico y la emergencia del concepto impulso nervioso, el conocimiento de la

estructura celular y la necesidad de retomar al concepto célula, así como la búsqueda bibliográfica que alimentará el proceso.

B. Profundización e indagación de textos

Para el proceso de indagación y reconstrucción histórica y epistemológica se recurrió a textos actuales con las teorías validadas hasta el momento. Sin embargo, su lectura generó una serie de inquietudes adicionales que llevaron al maestro a hacer una retrospectiva en búsqueda de las preguntas, teorías, prácticas y contextos que permitieron la emergencia del fenómeno como problema de conocimiento. Se acudió entonces a textos originales, adaptaciones o análisis de los originales, textos epistemológicos y videos documentales. Al abordar el trabajo de Ramón y Cajal fue necesario contextualizar en relación con otros autores para entender más claramente el reticularismo, de esta forma se revisó lo expuesto por Gerlach y el mismo Golgi junto con las técnicas usadas que permitieron las observaciones que desatarían la controversia de la unidad neuronal. Esto derivó en los aportes a la fisiología del impulso desde la teoría celular por lo que se vio la necesidad de acudir al trabajo de Schwann y Schleiden y con ello al estudio sobre membrana. Aunque el centro temático no era este, la condición de la neurona como unidad funcional y constitutiva planteaba preguntas sobre el momento histórico y las teorías legitimadas y sancionadas por la comunidad científica del momento. De igual forma ocurrió con la condición eléctrica y química del impulso.

C. Elaboración de representaciones gráficas

Con el fin de llevar a cabo procesos de síntesis, relación y comparación de los desarrollos teóricos alcanzados, se llevaron a cabo una serie de representaciones gráficas que fueron llevadas a discusión en los espacios destinados para ello, antes y después de las elaboraciones escritas o las exposiciones preliminares en los espacios abiertos por la maestría. Esto permitió retroalimentar el proceso de reconstrucción disciplinar y la emergencia de relaciones no visibles. De manera inicial se habían planteado como ejes centrales de la profundización teórica las controversias y el peso histórico de los autores, pero al socializar estas construcciones, emergieron otros elementos más incluyentes e importantes como el abandono de la obviedad o la importancia de la estructura celular, los cuales finalmente se desarrollaron y permitieron mejores explicaciones.

D. Reconstrucción histórica y emergencia del problema de conocimiento

Al igual que en las fases anteriores el proceso de reconstrucción y emergencia del impulso nervioso como problema de conocimiento fue constante y progresivo durante el trabajo de profundización. Se alimentó de manera permanente de los elementos anteriores, se ajustó y se reorientó. A su vez se socializó e intercambió con pequeñas exposiciones permanentes en los espacios ya mencionados.

Este espacio del trabajo de grado, aunque es específico puede ser extensible a otras preocupaciones teóricas diferentes a la del impulso nervioso y puede modificar el quehacer del maestro. Entendiendo al maestro como un sujeto que está en relación con unos saberes más no en lo abstracto, en este proceder existe un claro interés por tener certeza de cuál es el ámbito

fenoménico que se va a abordar y de allí se deriva el interés por la construcción desde lo disciplinar. Si el maestro modifica su relación con el conocimiento puede modificar su acción en el aula.

3.2.3 El impulso nervioso problema de conocimiento para la enseñanza

A partir de las construcciones anteriores se diseñó una intervención en el aula buscando reconfigurar los espacios de enseñanza, el tipo de actividades que posibilitan el desarrollo de procesos, así como el posicionamiento del docente como un sujeto transformador de sus prácticas, reflexivo y consciente de los procesos que lleva a cabo en el aula.

En varios momentos la propuesta de aula fue interceptada por los espacios del trabajo de profundización disciplinar. Su elaboración y ejecución se planteó con unos propósitos claros a saber:

- Situar a los estudiantes en unas condiciones que les permitieran tener una imagen diferente de las Ciencias Naturales.
- Llevar a cabo actividades que se constituyeran en un reto intelectual para los estudiantes y que los hiciera pensar en torno al fenómeno.
- Involucrar en el aula la profundización teórica y experimental que privilegiaran el desarrollo de: el trabajo en equipo, las salidas de campo, los diseños experimentales, expresarse en público, escribir, dibujar, hacer uso de las TICS, preguntarse, buscar bibliografía.

- Retroalimentación constante de actividades que serían implementadas buscando mejoras en los procesos.

Con lo anterior el maestro hace de los problemas de conocimiento una estrategia didáctica y pedagógica y un proceder metodológico para reconstruir, reorientar y hacer ajustes durante la ejecución del trabajo de aula.

Fases

Si bien el maestro trae una formación disciplinar, este tipo de reconstrucción e indagación le brinda herramientas para orientar su práctica pedagógica y construir así propuestas alternativas pedagógicas y didácticas que le permiten intervenir en el aula con el fin de ir promoviendo en los estudiantes experiencias de construcción de conocimiento y en el maestro la comprensión de los procesos pedagógicos implicados en dicha construcción.

A. Diseño e Implementación de la propuesta:

El diseño de la propuesta de aula se llevó a cabo como un proceso constante, es decir no fue diseñada en su totalidad para ser aplicada en un periodo determinado, sino que conforme se avanzaba en la fundamentación teórica se diseñaban las actividades más pertinentes y las fases a implementar. Este diseño estuvo caracterizado por la puesta en juego de tres estrategias, que fundamentan pedagógica y didácticamente los problemas de conocimiento, basadas en: **el cuestionamiento de la experiencia básica, la artificialización del mundo natural y la complejización de relaciones.**

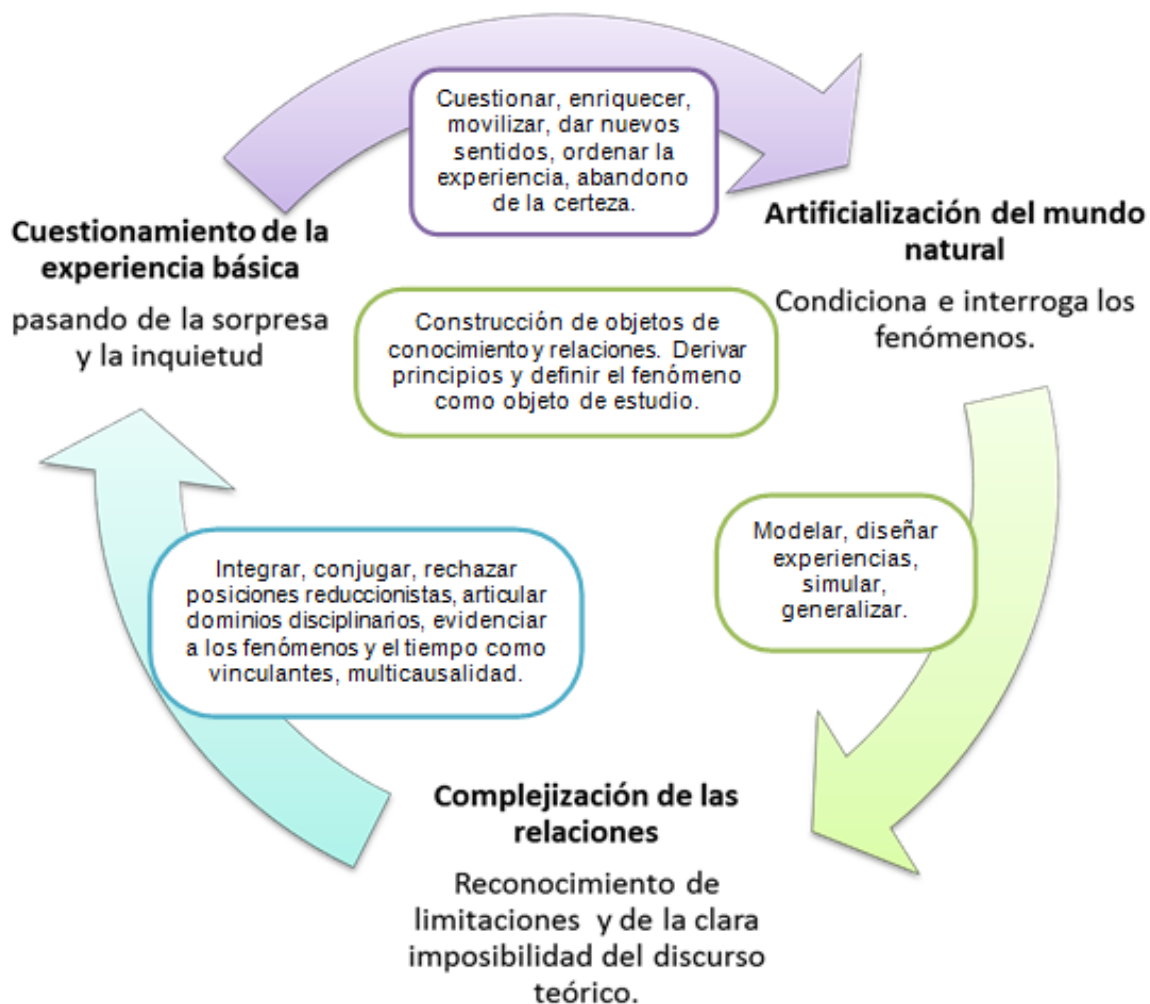


Ilustración 1 Estrategias utilizadas para el trabajo con los problemas de conocimiento basada en la publicación de Orozco y otros. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN)

Para tal fin, en primer lugar las actividades se enfocaron hacia el abordaje de preguntas² que cuestionan la experiencia básica de los estudiantes y del maestro, orientadas desde la curiosidad y el saber disciplinar, para permitir *sorprenderse* con lo que se considera

² O por cuestionamientos de las representaciones de los profesores y los estudiantes. En este sentido preguntas como ¿Cómo es posible responder a los estímulos? En otro contexto puede resultar obvia pero que para el objetivo de esta investigación se constituyen en experiencias que desencadenan procesos alternativos para la enseñanza de las ciencias y llevan al desarrollo de procesos de conocimiento. (VALENCIA, 2003.)

novedoso, *inquietarse* con lo desconocido y *maravillarse* del universo que se habita” (VALENCIA, 2003.).

En segundo lugar, teniendo como base al maestro interesado por su práctica, su saber disciplinar y la mejor manera de enseñarlo ligado a la actualización de problemas concretos, se desarrollaron actividades que posibilitaron la *artificialización del mundo natural*³ o profundización experimental, bajo esta estrategia maestro y estudiantes someten el impulso nervioso a condiciones específicas e interrogantes más profundos con el fin de obtener mayor información de estos, en este sentido se orientó a los estudiantes hacia el proceder experimental fundamentado en analogías con relación a la electricidad en el proceso, observaciones microscópicas, uso de TICS para recrear experiencias que no pueden ser llevadas a cabo en el laboratorio escolar, la descripción de las características, la formulación de hipótesis y el cuestionamiento constante de lo que ellos decían y comprendían del impulso nervioso.

Conforme se avanzó con la implementación de la propuesta de aula y la profundización teórica, la *complejización de relaciones* se presenta entonces como un estado en donde maestro y estudiante dinamizan las explicaciones dadas a cada una de las observaciones y actividades con relación al impulso nervioso, contrastan sus comprensiones con las encontradas en la profundización teórica dando paso a la emergencia de nuevas relaciones que promueven el diálogo con lo real y la comprensión del impulso nervioso a profundidad, describen y socializan nuevos hallazgos que transforman la obviedad y resaltan los detalles y las nuevas explicaciones construidas por los estudiantes a través de

³ Bajo esta artificialización del mundo natural los estudiantes proponen modelos o experimentos que les permitiera llevar a cabo analogías, acuñan conceptos, elaboran generalizaciones que les permite enriquecer las explicaciones al fenómeno conocido.

la posibilidad de vincular lo experimental con lo disciplinar fomentando vínculos multicausales entre estos con el fin de comprender aspectos que estructuran al impulso nervioso destacando: la respuesta del cuerpo a los estímulos, la naturaleza del impulso nervioso y el impulso nervioso como problema de conocimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior es importante aclarar que cada una de las estrategias se establece como interdependientes, ya que se enriquecen conforme se avanza en el proceso de intervención en el aula, es decir que una situación inicial, afecta la triada y sus producciones, a medida que el proceso avanza, cada una de estas condiciones se enriquece.

Al iniciar la implementación de la propuesta con los estudiantes de las primeras actividades del impulso nervioso como problema de conocimiento, los resultados obtenidos de estas configuraron un proceso de retroalimentación que permitió analizar las respuestas obtenidas a cada una de estas actividades y a partir de estas tomar dos caminos:

- Primero: aquel que permitiera reorientar actividades cuyos resultados no corresponderían con el objetivo principal.
- Segundo: planeación de la siguiente fase de la propuesta de aula, con sus respectivas guías y sus retroalimentaciones.

Es importante destacar que el proceso de diseño e implementación de la propuesta de aula se desarrolló de manera constante bajo una retroalimentación semanal de las actividades.

B. Selección de herramientas para aplicar en el aula

Los resultados obtenidos en cada una de las actividades permitirían la configuración de otras y la reflexión constante de las estrategias a implementar, el diseño de aula, las condiciones pedagógicas adecuadas que emplearía el maestro para resignificar el problema. Así se escoge y se reflexiona en torno a los materiales, videos, fotografías, y recursos adecuados que permitirían la comprensión del impulso nervioso y se selecciona toda una serie de herramientas para desarrollar el trabajo en el aula⁴. Para tal fin, se toman las “Herramientas para el trabajo en el aula” de los problemas de conocimiento como un referente a partir del cual se seleccionan las ayudas didácticas más adecuadas y acordes con la propuesta siempre bajo la delimitación de algunos aspectos tales como:

- Criterios de actuación: a través de estos se expone la vivencia del aula y se involucran en el diario vivir por medio de actividades tales como: La identificación de estímulos y respuestas a través de juegos de mímicas, just dance, ejercicios de arcos reflejos con cosquillas y pupilas, videos acerca de trabajos experimentales en ranas muertas y sin cabeza, a partir de las cuales se hizo una búsqueda de preguntas, formulación de hipótesis, problematización de las condiciones que se requieren para estas respuestas a los estímulos; artificialización de la naturaleza a través de trabajos experimentales con circuitos para establecer analogías con los procesos de respuesta y su naturaleza eléctrica, trabajo con estructuras de seres vivos como los nervios de las alas de pollo y su capacidad de conducción en presencia de soluciones salinas, la descripción y explicación de cada proceso, entre otros. Bajo estos criterios de actuación se focalizan actividades que

⁴ Tomando como referencia “las Herramientas para el trabajo en el aula” citadas en: OROZCO, J., VALENCIA, S., MENDEZ, O., JIMENEZ, G., & GARZÓN, J. (s.f.). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. *Red Académica. Universidad Pedagógica Nacional*.

conlleven a: Situaciones desencadenantes tales como la formulación de hipótesis y explicaciones para la comprensión del movimiento de la rana aún sin vida y sin cerebro, la conducción de electricidad en el proceso, la capacidad de responder a los estímulos que ellos mismos poseen, la problematización de lo obvio y la búsqueda constante de explicaciones que amplían las relaciones entre lo que ya se sabe y lo nuevo del impulso nervioso, que emerge a través de las actividades y el establecimiento de construcciones teóricas alternativas que configuran nuevas formas de hablar, escribir y escuchar en torno al fenómeno, y la emergencia de ambientes comunicativos fortalecidos a través de la capacidad de socializar los detalles encontrados, las hipótesis formuladas y el trabajo experimental riguroso desarrollado (**Ver diagrama 2**).

- Formas de trabajo: “a través del cual se configura un ambiente de trabajo en el aula, en donde las responsabilidades individuales, los intereses, las opiniones y el deseo del saber se conjuguen en una búsqueda común, propicia el diseño y el desarrollo de proyectos”. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN). Estas permiten generar las condiciones para la construcción de explicaciones diversas en torno al impulso nervioso y el desarrollo de argumentaciones y la solución de problemas significativos generados desde la respuesta del cuerpo a los estímulos y la artificialización. Para ello se implementan actividades tales como: mímicas, análisis de cómics y poemas, juegos con arcos reflejos, uso de videos en las tabletas para acercarse a trabajos experimentales con ranas que recreen los trabajos de Galvani, Ramón y Cajal, Young y especialistas en neurología actuales; actividades experimentales con circuitos y con nervios de pollo, microscopía, observación de microfotografías electrónicas con las tabletas, construcción de informes, solución a preguntas en las guías, socializaciones y retroalimentaciones constantes, entre otros.

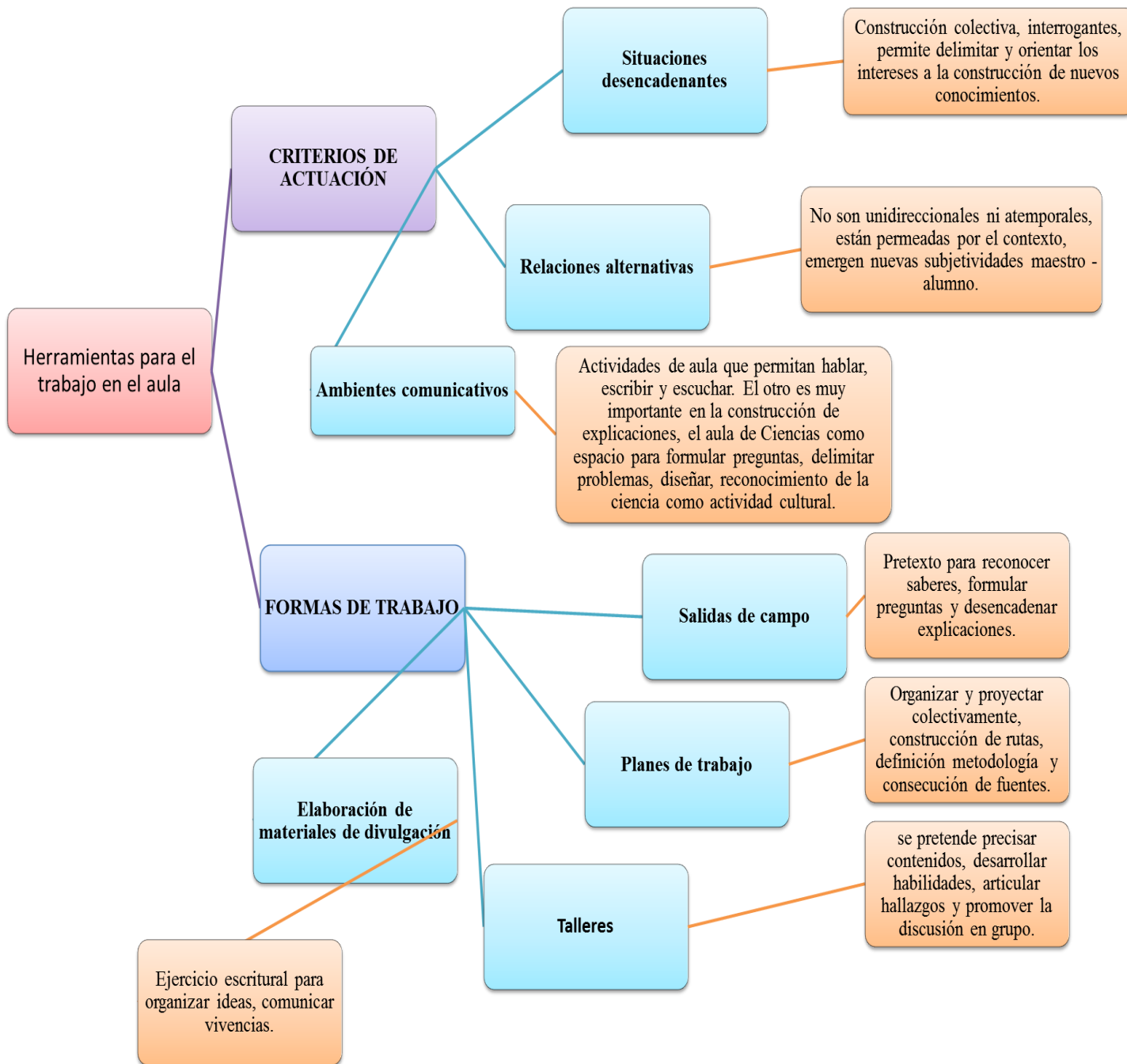


Ilustración 2 Herramientas para el trabajo en aula. Elaborado con base en la información descrita en Orozco y otros. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN)

4. REFERENTES TEÓRICOS

Con base en el reto que representa tratar de estudiar el impulso nervioso constituido como un problema de conocimiento para la biología y su enseñanza, los referentes teóricos se convierten en un ejercicio en parte de reconstrucción y también de establecimiento de relaciones del conocimiento con los contextos. Para iniciar, se acude a los autores reconocidos por las comunidades científicas y de enseñanza, sin embargo fue justamente allí donde empezaron a surgir mayores inquietudes. En la biología el impulso nervioso se define como el cambio rápido y transitorio del potencial eléctrico que se autopropaga a través de la membrana de un axón. (CURTIS, 2004). Haciendo una lectura rápida y aún con los conocimientos biológicos incipientes en lo concreto del concepto, entender lo expresado por Curtis resulta difícil. Esta definición involucra varios aspectos importantes que para llegar a comprender es necesario estudiarlos, contextualizarlos, cuestionarlos y relacionarlos.

Al hablar de la naturaleza eléctrica del impulso, es claro que el proceso, aunque biológico se relaciona con uno de los aspectos más importantes de la física: la electricidad y además con su naturaleza, de lo cual también se infiere puede ser diferente de la que comúnmente se conoce en los hogares o en la vida diaria. El punto aquí es tratar de comprender cuál es esa naturaleza.

La evidencia de cambios en un tiempo determinado, permite ver el proceso como algo transitorio, que de hecho en las aulas siempre se expresa como un proceso de todo o nada, que es veloz y que luego permite el restablecimiento de las condiciones de reposo. ¿Cómo lograr mediciones tan precisas? ¿Cómo asegurar hasta qué punto el estímulo desencadena el impulso? ¿Cómo lograr que los estudiantes no sólo comprendan, sino que logren explicaciones de ello?

Los potenciales que se relacionan con lo eléctrico, es un punto que deriva del primer aspecto, el asunto potencial resulta tan físicamente distante que se le nombra pasando por alto ¿qué es un potencial?, ¿cómo se hallan?, ¿cómo es posible hablar de ellos con tanta propiedad?, es decir: ¿son observables y medibles? ¿Hasta qué punto?

La capacidad de la neurona para hacer la autopropagación, es el aspecto que personalmente resulta más llamativo. La neurona es una célula en extremo compleja, atípica si se le compara con las demás, no solo en su forma sino en toda la dinámica de su funcionamiento. Inicialmente se puede pensar en un concepto neurona adherido al de célula, como si se pensara que hablar de célula es hablar de todas, pero no es así. Su relación con la invención y perfeccionamiento del microscopio y las tinciones, incluso con las teorías que explicaban lo celular hace de su construcción un proceso fascinante e inacabado.

Finalmente, la naturaleza de la membrana plasmática que permite hacer este proceso, está relacionada con la morfología y la fisiología de la neurona que posibilitan en gran parte la generación del impulso nervioso. En este punto, nuevamente se hace necesario retornar a la teoría celular y a los trabajos que se desarrollaron con relación a la membrana lo cual facilita la comprensión del movimiento de iones, los potenciales y que se supone ayuda a explicar la naturaleza eléctrica del impulso.

Aunque en la definición no se expresa de forma abierta, el impulso nervioso es una respuesta compleja de los seres vivos ante los estímulos. Su conocimiento es resultado de una construcción durante un largo periodo de tiempo, bajo diferentes miradas y contextos académicos y socio-culturales. Con un peso importante de la experimentación que facilitó no sólo la observación sino las analogías que aportaron a la construcción de explicaciones en torno al fenómeno. Bajo

esta mirada lo primero que se debe entender es que el concepto no surge en un punto específico de la historia, no hay un año, un día, ni un momento puntual de su aparición. Tampoco existe un autor específico o un grupo de investigación en torno a él que lo haya trabajado en su totalidad, más aún no se encontró un texto que pusiera en evidencia el proceso de construcción del concepto, todo aparecía como partes de un rompecabezas que fue necesario encajar pero que reforzó la idea de que el concepto impulso nervioso puede constituirse como un problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza.

El ejercicio de profundización teórica llevó inicialmente a establecer una ubicación secuencial de diferentes hechos que incidieron en las explicaciones sobre el impulso nervioso y luego a un análisis de cómo ciertas controversias, el desarrollo de ciertas técnicas, la consolidación de algunas teorías como la Teoría Celular, aportaron a las explicaciones.

La mirada reconstructiva de todo este ejercicio ha permitido identificar cuatro aspectos relevantes en la consolidación de la explicación actualmente validada en la comunidad científica frente al impulso nervioso. Estos aspectos se desarrollan a continuación bajo la denominación de: cuando se abandona la obviedad, de cuando la electricidad fue el problema y la solución: la naturaleza del impulso, la pieza faltante: el concepto neurona y la complejidad del concepto impulso nervioso: más allá de la física y la biología.

4.1 Cuando se abandona la obviedad

Preguntarse acerca de lo que comúnmente se observa y abandonar la obviedad de los fenómenos que nos presenta la naturaleza o la condición de seres vivos es quizás el paso más importante para empezar a estudiar y construir un concepto. Este paso va un poco más allá de la mera curiosidad que se satisface rápidamente y en cambio busca respuestas más contundentes. Es lo que también

muchas veces se conoce como observar con los ojos de la mente. En la historia muchos fenómenos empezaron siendo explicados desde la metafísica o la teología que daban respuestas a lo que las personas observaban y esas respuestas además de satisfactorias eran incuestionables. El impulso nervioso en general no escapó de ello. Las primeras explicaciones relacionadas con el impulso tuvieron que ver con el movimiento y los arcos reflejos cuya manifestación era la demostración más tangible de la característica de respuesta de los seres vivos al ambiente.

Las explicaciones a esa relación estímulo – respuesta datan de Galeno quien es reconocido por sus aportes a la medicina a través de los estudios realizados en cuanto a la anatomía y fisiología humana. Sin embargo, sus diversos estudios en monos y cerdos nunca fueron trasladados a los humanos por lo cual se considera que cometió varios errores que permanecieron en el tiempo gracias al peso histórico de sus estudios y a su reconocimiento en las comunidades científicas. A partir de sus observaciones concluyó la existencia de una red “red admirable o rete mirabilis” ubicada en la base del cerebro originando un espíritu animal, éste a su vez era de naturaleza líquida y se movía a través de tubos huecos por todo el cuerpo lo que permitía el control de las funciones. Aquí es evidente el concepto de animal relacionado al de ánima por el cual se justificaban los movimientos y se les daba una condición más allá de lo material que les permitía este tipo de respuestas. Como explicación teológica y supra empírica era incuestionable.

“Desde el año 200 al 500 no hubo, según Soury, ningún investigador que aportara nuevos conocimientos sobre el sistema nervioso”. (GIORDAN, Conceptos de Biología Tomo I, 1988). Así que los aportes de Galeno permanecerían como válidos el tiempo suficiente para que otros científicos los avalaran aún sin haber visto nunca la red de la que se hablaba.

Sólo hasta después de 1300 años se discutirían los principios de Galeno en cuanto al sistema nervioso, para lo cual la nueva experimentación, la observación, las disecciones y las tinciones serían aportantes.

Hacia 1500 Fernel atribuye a la fuerza la capacidad del movimiento muscular y un siglo después Whytt asigna una fuerza poderosa como responsable de la contracción. Vesalio⁵ se rebela contra las tradiciones y se aparta de las explicaciones teológicas y de las fuerzas sobrenaturales con las que se explicaban los fenómenos. De esta forma se dio paso a una nueva manera de pensar que se debatía con las posiciones determinantes y absolutistas. A finales del siglo XVII Haller⁶ elabora la teoría de las propiedades fundamentales de los tejidos animales que permitió diferenciar la sensibilidad de la irritabilidad⁷ y aclaró que “un pequeño estímulo sobre el nervio provoca las contracciones” (GIORDAN, Conceptos de Biología Tomo I, 1988). Para Haller (1776) existía un humor o fluido muy sutil que ejercía un gran poder y al cual le llamó espíritu. Según su teoría “los nervios contenían tubos muy finos que llevaban un fluido especial desde el cerebro a los músculos periféricos con el propósito de generar movimiento, y de la periferia al cerebro para producir sensaciones” (RUDOMIN P. , 1997). Para Haller este fluido debía ser altamente móvil, capaz de ser activado por el poder del alma, por la voluntad y por la impresión de los sentidos. Siendo móvil lo consideraba cercano a los nervios y adherido a ellos cuando actuaba. Lo describía como una sustancia que no forzaba -entendiendo este concepto como estimulaba- a los

⁵ Vesalio marca un cambio importante en la anatomía gracias a los trabajos realizados directamente en humanos que le permiten apartarse de los trabajos en monos de Galeno. Como resultado de su escuela humanista y del auge en Italia de dicha corriente no se conforma con las explicaciones teológicas, sino que con sus disecciones y observaciones abre la puerta a un conocimiento del humano antes impensable.

⁶ Albrecht Von Haller nacido en Berna 1708 realizó aportes notables durante la ilustración para la separación de la anatomía y la fisiología, su mayor aporte en este último campo estuvo en el estudio de cómo responden los animales a los estímulos.

⁷ Diferenciar sensibilidad de irritabilidad permite acercarse a las nociones de estímulo - receptor y comprender la primera como la respuesta de unos órganos o estructuras especializados en tanto que la segunda es una reacción frente a los estímulos negativos o que ponen en riesgo al ser vivo y que no se contemplaban con niveles de especialización.

sentidos. Finalmente concluiría que la sensibilidad corresponde a los nervios y la irritabilidad a los músculos y que por ello los nervios permiten regular la irritabilidad. A esta teoría le surgirían detractores como Caldani y Robinson que frente a las pocas posibilidades de observación del sistema nervioso eran escépticos a creer en tubos o fluidos nunca vistos.

Pero no era Haller el único tratando de explicar las respuestas de los animales a los estímulos. Otra teoría apoyada por Newton denominada: vibraciones en un medio material explicaba que “la vibración del medio, excitada en el cerebro por el poder de la voluntad, se propaga a través de la estructura sólida de los nervios a los músculos para contraerlos y dilatarlos” (RUDOMIN P. , 1997). Sin embargo, se discutía sobre la estructura de los nervios y la posibilidad que ésta brindaba para transmitir las vibraciones.

Una tercera explicación consideraba que los espíritus animales conservaban algunas características del fluido eléctrico. Esta teoría era expuesta por Beccaria (1766) y Laghi (1757) quienes afirmaban que: “En un nervio crural que sale de las vértebras, lesionado cerca de ellas y dejado secar después de 50 minutos no persiste el estímulo, pero aún hay electricidad”. (RUDOMIN P. , 1997) Y encontraron restaurador el estímulo de la electricidad sobre el movimiento de respuesta de la pata además de la relación entre la acción de los espíritus animales y el efluente eléctrico. Se empezaba entonces después de muchos años un nuevo camino en torno a la naturaleza de las respuestas a los estímulos, de cómo los nervios respondían a ello y el por qué podían llevarlo a cabo.

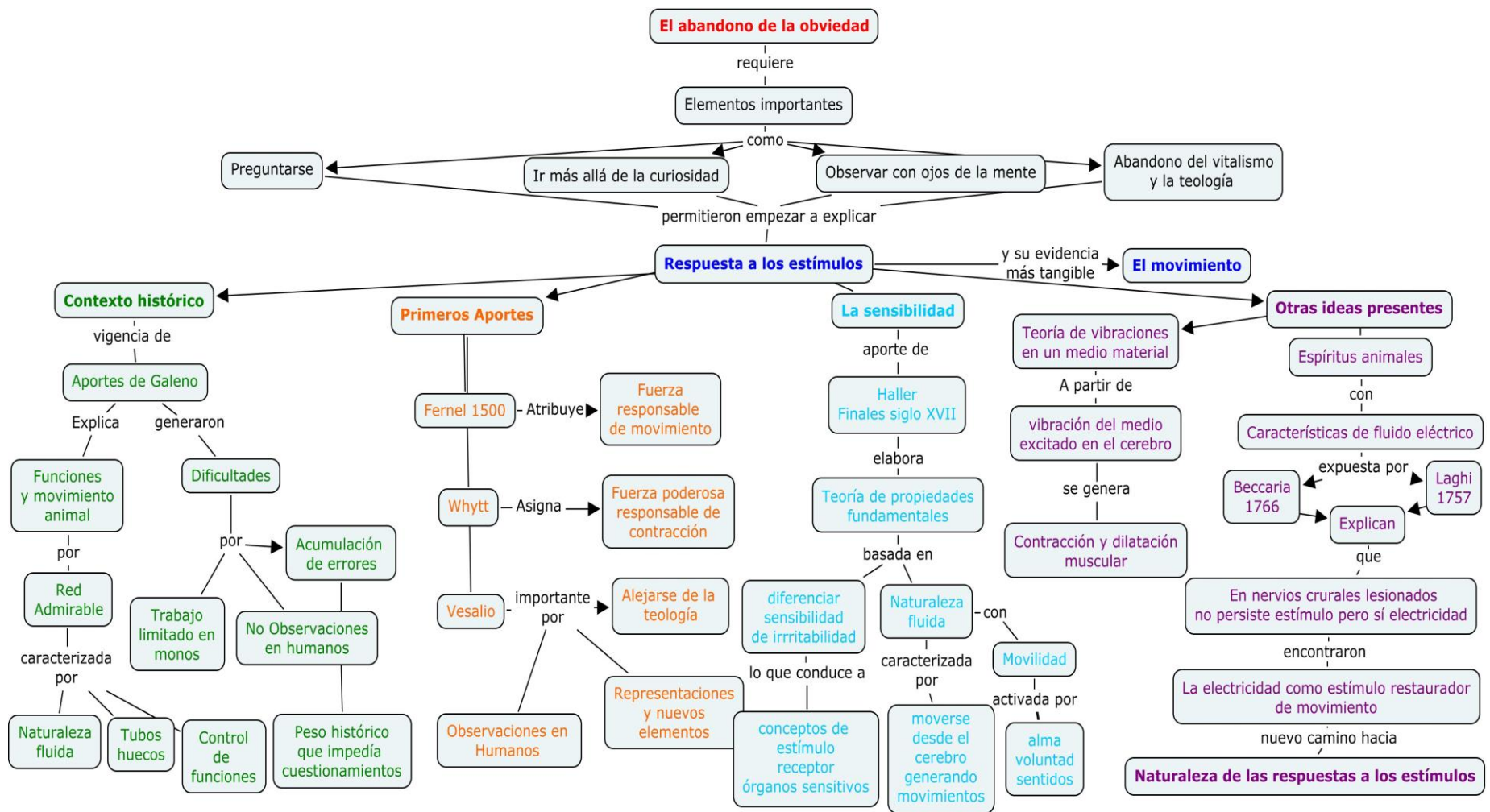


Ilustración 4. Diagrama de síntesis sobre el abandono de la obviedad para la reconstrucción teórica del impulso nervioso.

4.2 De cuando la electricidad fue el problema y la solución: la naturaleza del impulso.

En el estudio de las Ciencias Naturales y sus fenómenos la búsqueda de respuestas frente a lo que se observa es una constante, es avanzar un paso más allá de la curiosidad que acompaña a los humanos. En esa búsqueda, construir la explicación o hallar la respuesta, puede ser motivo de grandes satisfacciones y reconocimientos, pero también de emociones y saberes encontrados, y con ello de fuertes controversias que logran dividir el mundo científico y polarizarlo en “a favor o en contra”. Este momento de la historia que se detalla a continuación sobre el impulso nervioso se caracteriza justamente por una de las más grandes controversias desatadas en la historia de las ciencias. Aquí lo que inicialmente fue la solución terminó siendo un problema de siglos.

En el escenario del siglo XVII los nuevos trabajos, instrumentos y observaciones daban paso a explicaciones con elementos antes no contemplados. La Europa del siglo de las luces sería un gran escenario para intentar acercarse a la naturaleza del impulso nervioso, tan aceptado como espíritu animal a través del tiempo. Si bien algunos autores ya habían referenciado la posibilidad de relacionar las respuestas a los estímulos con la electricidad, fue el trabajo de Galvani el más importante en este sentido y sus conclusiones las causantes de la controversia desatada con su contemporáneo Volta.

Galvani médico y fisiólogo defendió la existencia de la electricidad animal; Volta físico, descalificó la idea de Galvani y propuso la teoría general de electricidad por contacto donde los metales actuaban como conductores.

En una de sus clases en el laboratorio de ciencias entre las diferentes máquinas de electrificación, Galvani pidió a uno de sus estudiantes realizar una rutina de músculos en una rana, observó que por accidente al introducir el bisturí en uno de los músculos de la rana estos se contraían simultáneamente en el momento en que se disparaba una chispa eléctrica de la máquina, sus

dudas se centraron en si era por la punta del bisturí o por la chispa eléctrica proveniente de la máquina, y lo describió así:

“Sin embargo, dudé de que estos movimientos eran originados por el contacto con la punta, la cual podría actuar como estímulo, en lugar de producirse por la chispa. Por lo tanto, toqué de nuevo con la punta el mismo nervio en otras ranas de una manera similar, y ejercí aún una presión mayor, pero no se obtuvo ningún movimiento, a menos que alguien produjera la chispa al mismo tiempo”. (GIORDAN, Conceptos de Biología Tomo I, 1988)

Para responder a sus preguntas realizó un experimento en medio de una tormenta eléctrica; conectando un alambre a la rana generando así un pararrayo. Cuando el rayo interactuó con la rana observo que todos los músculos sufrían contracciones violentas, concluyendo así que los nervios podían ser estimulados por la electricidad, se dio cuenta que la interacción entre la chispa eléctrica proveniente de la máquina de electrificación y la punta metálica de bisturí conducían una corriente eléctrica en la rana generando así la contracción del músculo.

“...en el momento en el que se desencadenaban los rayos todos los músculos sufrían múltiples y violentas contracciones, de manera tal que, de igual modo que la luz de los rayos, también los movimientos musculares y las contracciones...precedían a los truenos, y por decirlo así los anunciaban”. (GIORDAN, Conceptos de Biología Tomo I, 1988)

Galvani también encontró por accidente que era posible generar contracción muscular a distancia, es decir, con un cuerpo electrificado que no tocara a la rana de forma directa y al hacer su explicación de alguna forma ignoró las teorías físicas que hasta el momento contemplaban una atmósfera eléctrica causante del fenómeno. Para ello argumentó haber usado aislante que separaba a la rana de la atmósfera y tuvo en cuenta la distancia que a su juicio era muy grande para permitir el paso de la electricidad.

Así que habiendo aislado los estímulos externos explicó el resultado de esta observación como resultado de la acción interna de la rana *“la verdadera causa del fenómeno es la existencia de un fluido muy sutil presente en los nervios, que es puesto en movimiento por el impacto, vibración e impulso de la chispa, y es comunicado al aire y a los fluidos sutiles que se encuentran distribuidos alrededor del aire hasta las partes más finas del vidrio y de cualquier otro cuerpo que sostiene el vidrio”*; *“este fluido es el fluido eléctrico”*. (RUDOMIN P. , 1997) Esta

explicación sería el principio de lo que Galvani llamaría electricidad animal y expondría con mayores elementos su analogía con la botella de Leyden exponiendo su acción conductora. Para este momento Musschenbroek ya había fabricado la botella de Leyden cuando en su laboratorio al tratar de llenar una botella con fluido eléctrico por medio de un alambre conductor unido a una máquina electrostática tocó la botella con las manos recibiendo una gran descarga. (RUDOMIN P. , 1997). En la actualidad puede decirse que la botella se comporta como un condensador en el que la botella misma es un dieléctrico⁸.

Después de seis años, en 1786 realizó el experimento que provocaría la controversia con Volta (Figura 1) y que Galvani describió así: *“colocamos las ranas preparadas de la forma usual, horizontalmente sobre un riel de hierro. Sus médulas espinales fueron atravesadas con ganchos de fierro, que fueron utilizados para suspenderlas. Al balancearse los ganchos tocaron la barra de hierro y las ranas empezaron a exhibir contracciones espontáneas irregulares. Si se presionaba con el dedo el gancho de fierro sobre la barra metálica, la rana, si se encontraba en reposo, se excitaba cada vez que el gancho se comprimía en la manera descrita...”* (RUDOMIN P. , 1997) Frente a tales observaciones la respuesta esperada en la lógica de todo el contexto previo de Galvani es que la causa de las contracciones era intrínseca. En adelante Galvani realizó experimentos con circuitos cerrados como en la botella de Leyden y atribuyó la contracción a la descarga muscular producida por el arco conductor gracias al cual se podía comunicar la superficie interna con la externa. Descrito por Rudomin para Galvani el músculo inervado era una especie de botella de Leyden animal y por lo tanto, el animal poseía electricidad intrínseca. (RUDOMIN P. , 1997).

La explicación de Galvani al fenómeno observado le da propiedades eléctricas a los músculos y nervios de la rana, que luego de estimulados las exhiben. La electricidad animal toma forma gracias a esto, pues si no hay un aparente estímulo externo como ocurría con el bisturí y se presentan las contracciones es porque la electricidad reside en la estructura de la rana. ¡Es propia del animal!

⁸ El interior de la botella en este caso puede almacenar electricidad y luego liberarla, sin embargo, en sí misma la botella es un aislante.

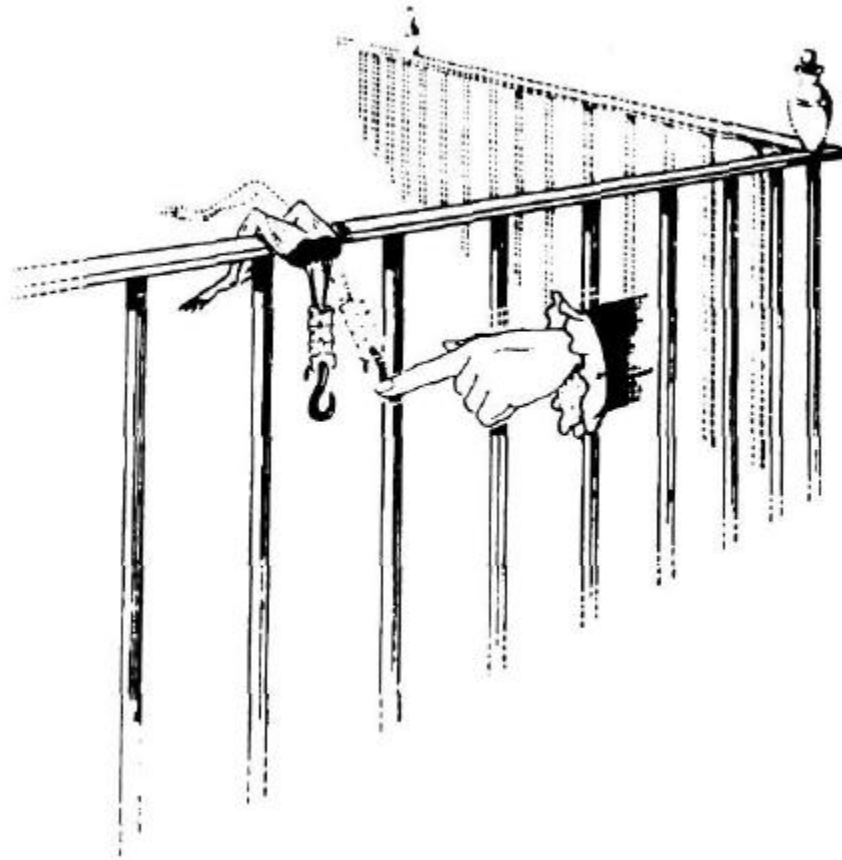


Ilustración 5 El hallazgo accidental de Galvani. El investigador colocó una rana suspendida de un gancho de hierro sobre una reja, también de hierro. Al balancearse la rana se producían contracciones espontáneas. Cada vez que se comprimía el gancho sobre la reja de hierro se producía una contracción. Ilustración tomada de Sirol, 1939 citado por Rudomín, 1997.

Surgen cuestionamientos a partir de lo anterior: ¿cómo logra Galvani los movimientos de las ranas sin estímulo eléctrico? ¿Realmente es esto posible? ¿Cómo recibió la comunidad científica ésta nueva prueba de la electricidad animal?

Volta quien en un principio aceptó la similitud propuesta por Galvani entre la rana y una botella de Leyden, empezaría a dudar del papel pasivo de los arcos bimetálicos usados por Galvani en este último experimento y consideró que podían generar electricidad y por tanto contracción *“cuando una tira fina de plomo o de zinc se aplica a una parte de la rana (médula espinal o músculos dorsales) y una llave o una moneda de un metal enteramente diferente se aplica a otra parte de la rana (patas), se produce una contracción al juntar los dos metales ya sea directamente a través de un tercer metal”* (RUDOMIN P. , 1997) Esta posición era contraria a la de Galvani para quien los metales usados tenían un papel pasivo frente a la electricidad animal.

Repitiendo los experimentos de Galvani, Volta encontró debilidades en las hipótesis, le dio a los metales la propiedad electromotiva y empezó a dudar de la electricidad animal. En noviembre de 1792 Volta publica: *“mientras más avanzo en mis experimentos más dudas tengo (acerca de la electricidad animal). De hecho, estoy convencido que ninguna acción específica de los órganos, que ninguna fuerza vital que estimula o mueve el fluido eléctrico, lo incita a viajar entre partes diferentes del animal. Por lo contrario, el fluido es dirigido y forzado a desplazarse por el impulso que recibe en los lugares en los que hace contacto con los metales, un impulso que lo jala en un lado y lo empuja en el otro”* (RUDOMIN P. , 1997)

Para Galvani y Volta la preocupación residía en el origen de la propiedad eléctrica, es decir, si ésta era generada o no por los animales, si era propia de ellos como lo explica Galvani o si era resultado de la interacción con los metales y las descargas a las que había sido sometida como lo propone Volta, aunque para los dos su naturaleza era la de un fluido.

Convencidos cada uno de su explicación, en adelante Galvani se dedicaría a demostrar la electricidad animal sin metales y Volta a comprobar su teoría general de la electricidad por contacto. Entonces, Galvani propuso un experimento que no requiriera de metales y para ello dejó los nervios crurales de la rana en contacto con el músculo lo que produjo una contracción muscular. Inicialmente él lo tomó como un apoyo a su analogía y a su idea de electricidad intrínseca, pero Volta lo usó como base de su teoría de electricidad por contacto haciendo referencia a la existencia de otros conductores no metálicos y no al imbalance entre las cargas del músculo y el nervio. Aunque inicialmente no fue fácil apartarse del asunto de la rana y su incidencia para explicar la contracción Volta en 1796 logró obtener pruebas de la acción de los metales sin el uso de estructuras biológicas. *“Lo observado por Galvani es simplemente electricidad artificial que actúa allí bajo el impulso de los contactos entre diferentes conductores. Son ellos, en sentido estricto, los que actúan como motores primarios. Ésta no es una propiedad únicamente de los metales, o conductores de primera clase, como podría uno suponer. Es común a todos los conductores, en grados diferentes, dependiendo de su naturaleza, aun, en cierto grado, en los húmedos o de segunda clase. Siguiendo estos principios se pueden explicar todos los experimentos realizados hasta ahora. No es necesario recurrir al principio imaginario de una electricidad animal, activa y específica de los órganos”* (RUDOMIN P. , 1997).

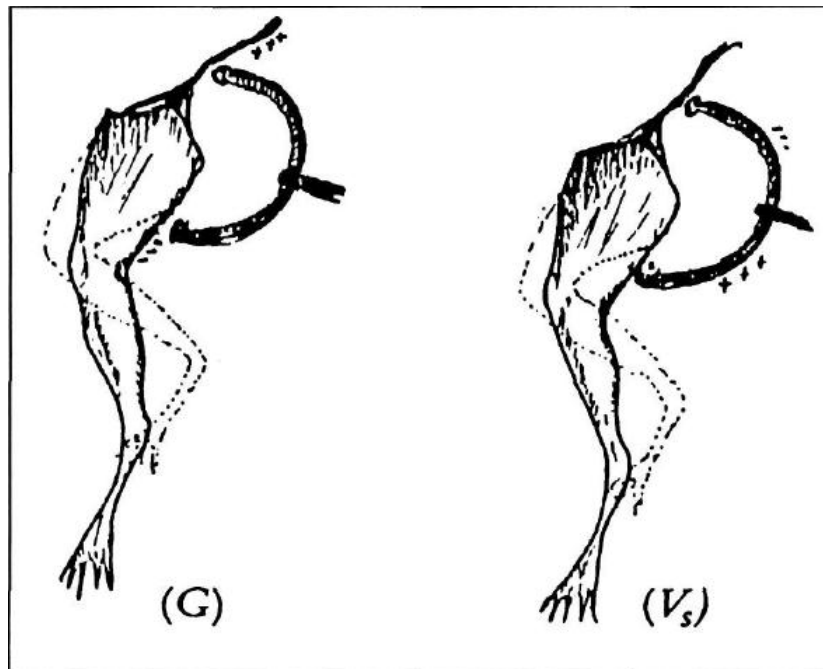


Ilustración 6 Comparación entre la teoría de Galvani (G) y la teoría especial de electricidad por contacto de Volta (Vs). De acuerdo con Galvani el nervio y el músculo tienen un desequilibrio natural en el fluido eléctrico y el arco metálico restablece este equilibrio de forma pasiva produciendo una contracción muscular. Según Volta, el nervio y el músculo están dotados del mismo fluido eléctrico. El arco bimetalico genera de forma activa una fuerza electromotriz que permite que el fluido eléctrico circule a través del nervio y el músculo produciendo una contracción. Tomado de M. Pera, 1992 Fig. 4.4, citado por Rudomín, 1997.

El 20 de marzo de 1800 Volta anuncia la invención de la pila construida por cuerpos no eléctricos pero buenos conductores. Según Marcello Pera citado por Rudomin, Volta omite los aspectos químicos del proceso y de esta forma favorece su teoría de la electricidad por contacto. La estrategia de Volta fue utilizar la invención de la pila para reafirmar sus puntos de vista respecto a la inexistencia de la electricidad animal y sostener que ésta electricidad era idéntica a la electricidad galvánica. (RUDOMIN P. , 1997)

Para Volta, la electricidad animal era debida a pilas internas y con ello explica el fenómeno del pez torpedo. Para Galvani, la rana era una especie de botella de Leyden. (RUDOMIN P. , 1997). Aunque ni Galvani ni Volta logran demostrar de forma contundente sus teorías. Tal como lo señala Pablo Rudomín (RUDOMIN P. , 1997): Los dos tenían razón por cuanto a los mecanismos involucrados en la generación de la electricidad, pero ambos estaban equivocados al suponer que

estos dos mecanismos eran mutuamente excluyentes. Particularmente se interpreta esta afirmación apoyando a Galvani en cuanto a que las estructuras animales (nervios y músculos) facilitan el transporte de las corrientes eléctricas, responden a ellas, actúan con ellas y a Volta comprendidas como conductores de esta electricidad, generadas no por sí mismas, en el lenguaje actual se diría generadas por un estímulo.

Los trabajos de Galvani y Volta son importantes en el conocimiento de la naturaleza del impulso nervioso porque lo relacionan de una forma menos especulativa con la electricidad y permite empezar a apartarlo de forma definitiva de las posiciones vitalistas o las explicaciones teológicas.

Sin la certidumbre en cuanto al fenómeno, la controversia se extendió años después de la muerte de Volta dando continuidad a la investigación de la electricidad animal, lo que a su vez la condujo a su final el cual estuvo enmarcado inicialmente por los aportes de Matteucci, Du Bois – Reymond, Bernstein, Helmholtz y una gran cadena de prácticas experimentales que estuvieron apoyadas en las invenciones tecnológicas que alimentaron los procedimientos y con ello fortalecieron las explicaciones.

El descubrimiento del electromagnetismo⁹ (1820) y la construcción del galvanómetro¹⁰ (1825) favorecieron los trabajos de Matteucci quien desarrolló experimentos en lo que él llamó corrientes de lesión. Esto lo logró cuando descubrió que un musculo lesionado, en reposo lograba comportarse como una fuente de corriente. Mateucci fue el primer fisiólogo que usó la contracción de un músculo unido a su nervio motor para detectar la excitación o estimulación del nervio, este método fue empleado hasta avanzado el siglo XX para fines de investigación original, y es aún usado para demostraciones de estudiantes. (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996) a partir de sus trabajos se destacaron tres aspectos:

- a. Las corrientes fluyen entre las partes dañadas y las partes intactas de un músculo.
- b. Las corrientes se multiplican al conectar los músculos entre sí.
- c. Los efectos disminuyen con la estriknina.

⁹ El electromagnetismo estudia la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos que antes eran independientes. Los trabajos realizados en este campo brindaron herramientas para la comprensión de los fenómenos relacionados con cargas eléctricas.

¹⁰ El galvanómetro llamado así en honor a Galvani es un instrumento que funciona con base en fenómenos magnéticos y que permite medir corrientes eléctricas pequeñas.

Este último aspecto, relacionado con la estricnina cobra relevancia por dos razones: por primera vez se tiene en cuenta la acción de una sustancia química en el fenómeno lo que abriría paso más adelante para pensar que no se trata de un asunto puramente físico y en segundo lugar que la presencia de las sustancias pueden afectar la corriente eléctrica generada en las estructuras biológicas.

En general, sus aportes constituyen la base para demostrar posteriormente los potenciales de acción, cuando al colocar los electrodos éstos se polarizaban después de pasar por ellos una corriente eléctrica.

Las investigaciones se trasladaron hacia Alemania donde Johannes Müller¹¹ funda una escuela de fisiología y aunque particularmente él no era defensor de la electricidad y sus efectos fisiológicos, sí facilitó a sus discípulos el acceso a trabajos experimentales e intercambio de información que derivaría en la finalización de la controversia iniciada años atrás por Galvani y Volta.

Du Bois- Reymond discípulo de Muller, por sugerencia de su maestro en 1841 repite los experimentos de Matteucci corroborando los resultados descritos anteriormente, pero además estudió nervios aislados con el galvanómetro y en 1845 descubre la existencia de cambios electromotrices en el tejido nervioso. Observó que, si los electrodos del galvanómetro eran aplicados sobre la superficie del nervio, alejados de los extremos cortados, esta superficie era equipotencial. Sin embargo, si uno de los electrodos era colocado cerca del extremo cortado mientras que el otro estaba alejado, el electrodo cercano al extremo cortado era negativo con respecto al otro. (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996). Por las características de respuesta estas corrientes fueron denominadas corrientes de reposo lo que actualmente serían las corrientes de lesión generadas durante el potencial de reposo.

En su trabajo se destacan estos aportes:

- a. Confirma las observaciones y conclusiones de Matteucci.
- b. Los músculos también producen electricidad.

¹¹ Müller es reconocido luego de Haller por sus aportes a la fisiología, los cuales por primera vez se unen a los conocimientos anatómicos. Su escuela en Alemania estaba basada en la experimentación y la observación y de ella se destacan importantes discípulos como Helmholtz, Du Bois – Reymond, Schwann, Henle cuyos trabajos son ampliamente reconocidos por sus aportes a la biología y la fisiología.

- c. Al usar la estimulación farádica (carretes de inducción) encuentra que la corriente de lesión disminuye con la actividad y concluye que “el potencial de reposo se debería a la existencia de “partículas electromotivas orientadas regularmente a lo largo de la superficie del nervio y el músculo” (RUDOMIN P. , 1997).
- d. Descubrió que un nervio estimulado sufre una variación negativa similar a la observada en el músculo. Con esto descubrió el **impulso nervioso** o “**potencial de acción**” y afirmó que había demostrado la identidad entre “el principio nervioso” y la electricidad (“*si no me engaño completamente, he conseguido encontrar el sueño centenario de físicos y fisiólogos, de observar la identidad entre el principio nervioso y la electricidad*”) (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996).

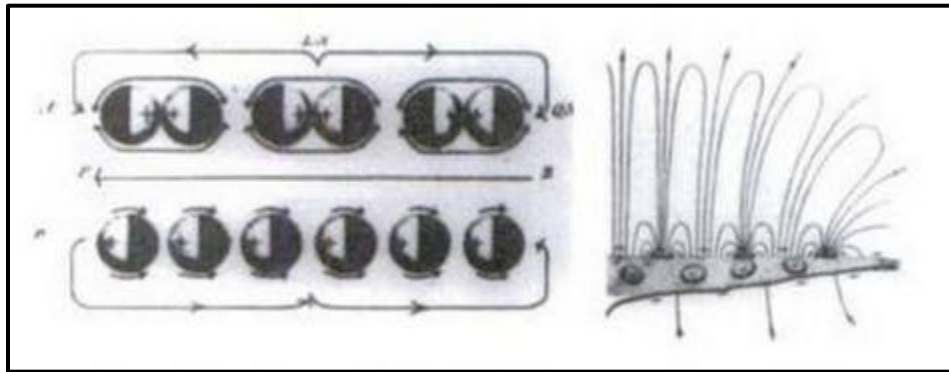


Ilustración 7. Dibujos hechos por Du Bois Reymond para ilustrar sus ideas sobre la corriente eléctrica del nervio. El esquema de la izquierda muestra el cambio en la orientación de las moléculas durante la polarización. El esquema de la derecha es la dirección de la corriente eléctrica durante la actividad en el nervio. Tomado de (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996) Fig. 8.8

Este último es quizás uno de los hallazgos más importantes en la reconstrucción teórica realizada. Cuando se habla de impulso nervioso siempre se termina relacionando con los potenciales de reposo como momento previo y de acción, como en sí mismo, así se aprenden y se enseñan. Sin embargo, durante las primeras consultas realizadas para este trabajo había un salto constante de los aportes de Galvani a Helmholtz a quien más adelante se hace referencia. Posteriormente tal como aquí se referencia se encontró el aporte en torno a los potenciales de reposo, pero sólo hasta el final de éste proceso y después de varias revisiones teóricas se halló el momento en el cual aparece el concepto potencial de acción o impulso nervioso. Corresponde ni más ni menos a esa emoción con la que el autor lo describe: encontrar el sueño centenario, la identidad entre

principio nervioso y electricidad. Es decir, a la comprensión de un fenómeno en el cual interviene lo eléctrico pero que no corresponde a la misma naturaleza de la electricidad como se conocía hasta el momento. A la relación con las partículas electromotivas pasadas por alto o no visibles hasta ahora, a su desencadenamiento producto de la estimulación como una activación luego del estado de reposo por las variaciones negativas generadas.

Es importante aclarar que, aunque este nuevo paso es histórica y conceptualmente muy importante no marca el final de éste asunto. Aún hay muchas preguntas por resolver como las que surgen en torno a la velocidad de conducción, la naturaleza de las partículas electromotivas, la forma en que actúan, la existencia o no de similitudes entre el nervio y un cable en la conducción, entre otras. Por consiguiente, serán estos cuestionamientos los que en adelante se desarrollan.

Helmholtz también discípulo de Muller y colaborador de Du Bois- Reymond, tenía la idea de que el impulso nervioso se propagaba en el cuerpo como una corriente eléctrica en el alambre. Para comprobarlo realizó un experimento publicado en 1850 que le permitía medir la velocidad con la que se propaga el impulso nervioso, para ello tuvo en cuenta las siguientes condiciones: el tamaño de la membrana usada, lo que representaba la distancia y los diferentes tiempos en que reaccionaba la membrana al pulso eléctrico.

Al relacionar estas dos variables se obtenía la velocidad de conducción del impulso nervioso, el cual era cercano a los 27.25 m/seg y permitía afirmar que el impulso nervioso era conducción de electricidad en el cuerpo humano.

Los principios de carga y movimiento resultaron fundamentales en estas explicaciones, así como su movimiento a través de los materiales conductores. Pero fueron justamente esos principios los que permitirían el debate frente al comportamiento eléctrico de la célula y los propios conocimientos en la biología celular los que cambiarían de rumbo los estudios de ahí en adelante.

Entre los aspectos más notables frente a la discusión se presentaron los siguientes:

- El axón es un mal conductor de electricidad, quiere decir que los iones fluyen por una distancia corta antes de que la corriente se extinga. Por tanto, el impulso no presenta disminución en los extremos del axón.

- Si bien desde el punto de vista biológico el impulso nervioso es rápido, con relación a la corriente eléctrica no lo es, de hecho, es mucho más lento.
- La intensidad del impulso nervioso siempre es la misma a diferencia de lo que ocurre con la corriente eléctrica.
- Las características anteriores hacían pensar que el impulso tenía características electroquímicas. En otras palabras, la propagación del impulso nervioso podía ser el resultado de un movimiento de partículas (moléculas o iones) que tienen una carga positiva o negativa. (BAKER & ALLEN, 1970) ó de una diferencia de potenciales.

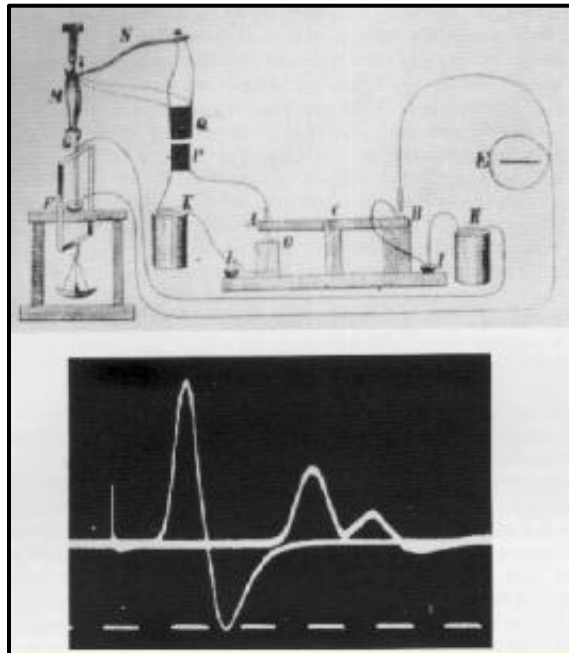


Ilustración 8. Arriba aparato usado por Helmholtz para medir la velocidad de conducción del impulso nervioso. Abajo el cambio en el potencial de acción del nervio ciático de rana cuando es estimulado a diferentes distancias del músculo. Tomado de (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996) Fig. 8.10

Bernstein, discípulo de Helmholtz, en 1871 establece las bases de la teoría iónica cuando se pregunta si la variación negativa del potencial de reposo era idéntica al proceso excitatorio (impulso nervioso). Para ello mejoró el reotomo diferencial y la lentitud del galvanómetro por medio de un marcador mecánico y un circuito de muestreo. Bernstein estimulaba rápidamente el nervio, conectando el galvanómetro por intervalos de igual duración después de cada estímulo, de tal manera que el aparato recibía una descarga de muestras idénticas. (LATORRE, LÓPEZ-BARNEO, BEZANILLA, & LLINÁS, 1996) Esto le permitió comparar los intervalos del

potencial de acción y demostrar que las diferencias de potencial se desplazan generando un movimiento ondulatorio y que se aleja del estímulo. Sus aportes fueron determinantes en la fisiología y se pueden resumir en lo siguiente:

- a. Midió la velocidad de propagación del cambio de potencial y evidenció en ella un sobretiro.
- b. Propuso la selectividad permeable de las membranas musculares y nerviosas a los iones potasio.
- c. Afirmó que la polarización durante el reposo era positiva fuera y negativa dentro.
- d. Explicó que cuando la membrana se activa, es decir cuando responde al estímulo, aumenta su permeabilidad al cloro y al potasio.
- e. Explicó al potencial de acción como la despolarización autopropagada de la membrana.
- f. Permitió explicar la generación de potencial de membrana en células vivas y el potencial de acción que luego será trabajado por Hodgkin y Auzley.

¿Cómo se llega a estas conclusiones? El estudio de una neurona individual y el registro en los cambios del potencial eléctrico resultarían determinantes. Las preguntas a este momento han cambiado, ya no estarían relacionadas únicamente con aspectos físicos ni el proceso explicado sólo desde allí, empezaría a tomar relevancia pensar y preguntarse en la fisiología con relación a las estructuras de una manera más precisa con lo iniciado por la escuela de Müller. Para ello se volvería sobre la teoría celular y se apartarían lentamente las visiones mecanicistas y vitalistas de los seres vivos.

4. 3. La pieza faltante: el concepto neurona

Cuando se reconstruye un concepto complejo como lo es el impulso nervioso hay muchos aspectos que llaman la atención, algunos de ellos ya han sido mencionados, sin embargo, el que se desarrolla a continuación es biológicamente interesante. Hasta este punto las explicaciones son construidas desde lo macro, lo perceptible, lo observable a simple vista, lo medible a través de los instrumentos. Y está bien en principio, pero ya no es suficiente, porque falta la generadora del proceso, falta la estructura involucrada. Por supuesto que ya existía una y era el nervio, y la visión de nervio análogo a un cable, aunque de naturaleza distinta en la conducción no en su estructura. Así que hablar de pieza faltante es tanto como decir, la pieza que falta para explicar

con claridad qué ocurre y dónde ocurre cuando se desencadena el impulso. Ella es la neurona por supuesto, pero en la historia la neurona no siempre fue una célula estudiada como unidad, no siempre fue neurona y la célula no siempre fue célula en el concepto actual, ni eran diferenciadas tampoco.

En tiempos de Galvani y Volta los nervios eran considerados tubos llenos de fluido, para algunas corrientes este fluido respondía a una fuerza animal o vital que ocasionaba las contracciones musculares o que incluso eran similares al músculo mismo. Sería en 1838 gracias a la consolidación de la teoría celular expuesta inicialmente por Theodor Schwann discípulo de Johannes Müller quien junto con Schleiden darían una visión diferente a la composición de los seres vivos y de sus estructuras, exponiendo dos principios básicos: el de que todos los seres vivos están formados por células y que la célula es la unidad básica de organización de la vida. (ALBARRACÍN A. , 1992). De esta forma es posible comenzar a pensar que lo que ocurre en los nervios, los potenciales, están ocurriendo en las células. Para Schwann la membrana es una estructura que separa la célula de su medio y las actividades animales y vegetales están relacionadas con las estructuras celulares. Para efectos del impulso nervioso esto es importante porque de ser así debe existir un medio intracelular y extracelular que facilite la conducción de la electricidad, pero además una estructura que también lo permita. Los estudios en membrana celular son muy relevantes pues gracias a ellos es posible estudiar el comportamiento eléctrico de las células y la posibilidad de intercambiar sustancias o iones. Hacia finales del siglo XIX existían dos hipótesis para ello, la primera que el estado coloidal del medio interno mantenía la alta concentración de los iones y la segunda que era el resultado de un intercambio entre dos medios en una membrana semipermeable. Höber llevó a cabo experimentos con glóbulos rojos y demostró que las células pueden estar formadas por un medio conductor como el citoplasma y estar separadas por uno no conductor que en este caso es la membrana e introdujo el concepto capacitancia y reactancia. (GRANDOLFO, MICHAELSON, & RINDI, 1985) Este concepto permite entender a la membrana como un circuito donde la bicapa es un capacitor y los canales iónicos una resistencia. Pero además en su acción como aislante le da mayor protagonismo a las condiciones de los medios externos e interno.

Osterhout también llevó a cabo mediciones, pero esta vez en algas marinas notando diferencias atribuidas a la concentración del medio. Rogers y Cole también corroborarían las teorías de

Höber trabajando con huevos de erizos de mar. (GRANDOLFO, MICHAELSON, & RINDI, 1985) A principios del siglo XX las hipótesis sobre la estructura lipídica y de mosaico de la membrana tomaron fuerza, pero sólo hasta 1959 gracias a los rayos X Robertson logra identificar las proteínas relacionadas con el movimiento de los iones y el transporte activo fundamentales para la comprensión de la naturaleza del impulso. Pero para ese momento ya se habría desarrollado el concepto neurona.

De forma paralela a los trabajos en la fisiología del impulso y los avances en la teoría celular, se desataría una nueva controversia, esta vez entre Ramón y Cajal y Golgi, sin la cual no se conocería la estructura y naturaleza misma de la neurona que aportó elementos importantes al trabajo de Bernstein y los derivados de éste. El centro de la disputa académica era la estructura individual de la neurona, es decir, la neurona como unidad. En este momento histórico la neurona como concepto no estaba presente, y como entidad individual tampoco era reconocida. Por sus características observarla claramente con los instrumentos o técnicas del momento no era posible.

Los trabajos de Ramón y Cajal no estaban centrados en la naturaleza del impulso sino en la estructura de la Neurona. A finales del siglo XIX se habían considerado los principios de la teoría celular en duda especialmente por las características individuales que se le habían otorgado. Gerlach debatía esta característica defendiendo el reticularismo, teoría que explicaba al tejido nervioso como una red difusa donde los componentes no eran individualizados. Se consideró que era el sistema nervioso precisamente el que más revelaba esta condición ya que al ser visto a través del microscopio mostraba marañas que tenían claros puntos de unión formando una anastomosis. De hecho, si actualmente son observados con el microscopio de luz y tinciones simples se observa tal como aquí se describe. Ramón y Cajal interesado por la neurona derivó sus trabajos de los realizados por Golgi quien había llevado a cabo una serie de tinciones avanzadas con nuevas técnicas de los tejidos nerviosos, sin embargo, sus interpretaciones

distaban de las realizadas por Golgi aun cuando los dos lograron observaciones detalladas del mismo tejido.

Golgi elabora tres conclusiones enunciadas a continuación y citadas por Albarracín, (ALBARRACÍN A. , 1983) donde no se aparta del todo del reticularismo y manifiesta una posición intermedia quizás resultado del peso que ejercía la teoría y sus ponentes:

- *Que las expansiones protoplasmáticas acaban en extremidades libres*
- *Que toda célula nerviosa posee un cilindro-eje que, durante su trayecto emite fibrillas colaterales ramificadas.*
- *Que existen dos tipos de cilindro-ejes en las células nerviosas: unos, que emiten fibras colaterales y conservan su individualidad en la sustancia blanca o en las raíces motoras de la célula - fibras motrices – y otros que pierden pronto su individualidad, sin llegar a la sustancia blanca, resolviéndose inmediatamente en la sustancia gris en una arborización terminal.*

Los trabajos de Golgi fueron debatidos por HIS quien al observar las neuronas en su fase embrionaria siguiendo los procesos establecidos por el primero, no logra observar rastros de reticularismo ni anastomosis, por tanto no evidencia continuidad en ella y sus prolongaciones. Forel de forma independiente a HIS también repitió los trabajos de Golgi y a partir de sus observaciones no pudo establecer que las ramificaciones se entrelazaran lo que manifestó en un enunciado citado por Albarracín (ALBARRACÍN A. , 1983):

“pienso que todos los sistemas de fibras y las llamadas redes de fibras del sistema nervioso, no son otra cosa sino expansiones nerviosas de células que se ramifican a mayor o menor distancia en forma de ramificaciones encajadas unas en otras, pero no anastomosadas”.

Ramón y Cajal entonces, se dedica a estudiar la estructura celular del sistema nervioso y entra a discutir el asunto del reticularismo. Su trabajo de más de cuarenta años se basa en la histología de los adultos y la perfección de las técnicas de Golgi lo que le permitió observaciones mucho más precisas que junto a sus producciones teóricas e hipótesis resultaron en el rechazo tajante del reticularismo a través de la siguiente afirmación:

“las células nerviosas son elementos independientes jamás anastomosados ni por sus expansiones protoplasmáticas ni por las ramas de su prolongación de Deiters (cilindro eje), y que la propagación de la acción nerviosa se verifica por contactos a nivel de ciertos aparatos o disposiciones de engranaje” (ALBARRACÍN A. , 1983).

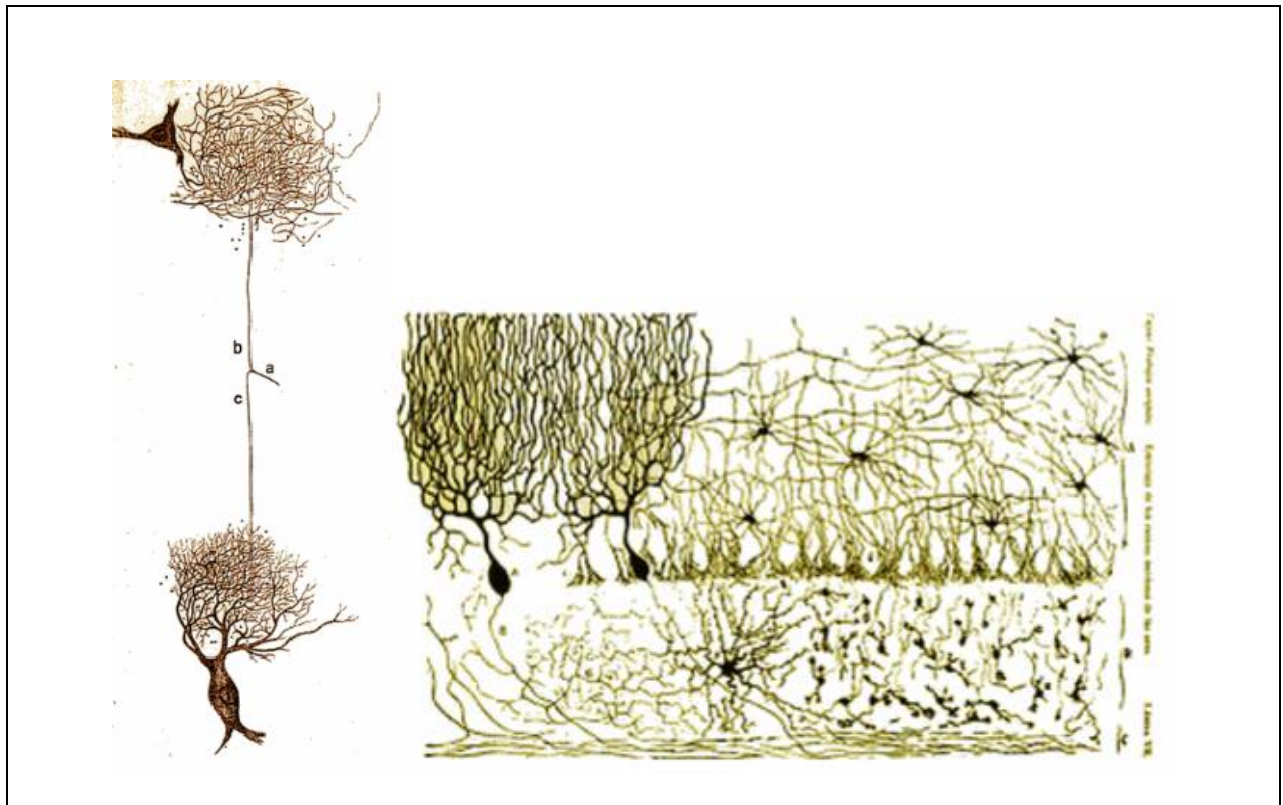


Ilustración 9 A la izquierda dibujo realizado por Gerlach 1871 para explicar su teoría reticular (células nerviosas de la médula espinal del buey teñidas con carmín amoniacal. Según este autor la actividad de la conducción nerviosa tenía lugar a través de una red de elementos neurales. a. axón que se divide en dos ramas b y c. A la derecha primera ilustración realizada por Cajal de una preparación histológica (cerebelo de gallina) con el método Golgi, en donde hizo la observación trascendental de que todas las prolongaciones de las células nerviosas terminan libremente y que se comunican entre sí por contacto y no por continuidad. Tomada de Cajal 1888. (DE FELIPE Javier, 2010) Fig 7 y 14 respectivamente.

Su teoría no fue plenamente aceptada y en adelante los exponentes del reticularismo encontrarían en el estudio de la embriología razones para apoyar los postulados de Gerlach haciendo parte de la controversia en la que Ramón y Cajal afinaría aún más sus procedimientos, observaciones y conclusiones en defensa de la individualidad celular concluyendo en 1900 la discusión:

« La demostración histológica de la libre terminación de las expansiones cilindro – axiales y de las prolongaciones protoplasmáticas está ya concluida. Su consecuencia, la teoría de la neurona, es decir, de la unidad y de la independencia de la célula nerviosa, comprendidos todos sus apéndices, está sentada hoy en día, pues, sobre un número grande de hechos positivos, de observaciones ciertas, para que el anuncio de un ejemplo aislado de anastomosis aparentes, por otra parte, siempre por demostrar, pueda hacérsela abandonar. Pero si fuese preciso, se podría apelar todavía a la neurogenia, a los métodos de las degeneraciones y de las atrofias. Todas estas ciencias concuerdan por sus datos con los métodos histológicos; afirman la legitimidad de la doctrina de la neurona y de la transmisión de las corrientes por contacto». (ALBARRACÍN A. , 1983)

Se reconoce así el concepto Neurona que en vínculo con la teoría celular implica ser entendida como la unidad constitutiva del sistema nervioso, su funcionamiento también de carácter individual es independiente, aunque en relación con las células adyacentes. Se asigna a las prolongaciones protoplasmáticas la función de las transmisiones de corriente y no de flujos nutricios como se consideró hasta Golgi. Se relacionan las características estructurales a las funciones que en particular cumplen este tipo de células. Adicionalmente al aceptar que las neuronas no están anastomosadas se abandona la visión de continuidad en el nervio por la de contigüidad en la cual, aunque las células estén cercanas no son continuas y actúan individualmente. Esto a su vez permite apartarse de la comparación de los nervios con un cable

de corriente y establecer que el impulso realmente ocurre en el cilindro eje descrito por Ramón y Cajal.

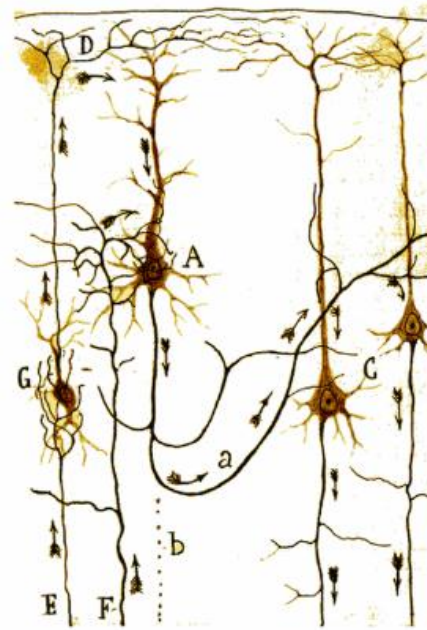


Ilustración 10. Dibujo realizado por Cajal para mostrar la marcha de los impulsos nerviosos en una célula piramidal mutilada (A). En este esquema Cajal muestra cómo los impulsos sensoriales aportados por las fibras aferentes, una vez que llegan al cuerpo celular y a las dendritas de la célula mutilada se propagan a las neuronas vecinas (C) no dañadas y posteriormente descienden hacia la médula espinal. A pirámide arciforme; D, capa plexiforme; C, células piramidales normales; E, F, fibras aferentes; G, célula de axón ascendente; a, colateral hipertrófica; b, trozo axónico degenerado; Tomada de Cajal (1914^a, Fig 281) (DE FELIPE Javier, 2010) Fig 19

Con las controversias aparentemente resueltas y la claridad en cuanto a la estructura de las neuronas los trabajos siguientes serían en torno a la naturaleza iónica del proceso y la explicación desde la química, la física y la biología.

4.4 La complejidad del concepto impulso nervioso: más allá de la física y la biología.

En el recorrido de la construcción del concepto impulso nervioso los elementos puramente físicos o biológicos no resultaron suficientes. Además de incluir los aspectos químicos también fue necesario el apoyo de los avances tecnológicos que a través del tiempo permitieron alimentar lo

que inicialmente pudieron ser suposiciones. La fisiología demanda relaciones complejas de procesos que requieren elementos de diversas áreas para su explicación, la complejidad del funcionamiento de los seres vivos no permite una visión simplista o fraccionada.

El trabajo de Ramón y Cajal permitió centrarse en una estructura, la neurona, quien ahora era claramente la responsable del impulso nervioso y por tanto de las respuestas a los estímulos. Los científicos centrarían su atención en ella, sin embargo, el problema de su tamaño y su complejidad hacía muy difícil su estudio en detalle, para fortuna en la historia el descubrimiento de Young solucionaría este problema y daría a los científicos la materia prima que necesitaban. John Z Young, zoólogo inglés, a principios de los años treinta descubre el axón gigante del calamar cuando observa una estructura cilíndrica de gran tamaño y de la cual descartó que se tratara de un vaso sanguíneo al no ver ningún fluido similar a la sangre dentro de él. Por los estudios hechos previamente sobre la neurona y sobre la circulación, supuso que se trataba de esta célula ya que estaba conectada al manto muscular del calamar. Young logra aislar la célula y de ella el axón. Para comprobar su teoría coloca electrodos dentro del cilindro eje obteniendo corriente eléctrica, además estudia el contenido interno hallando sodio y potasio apoyando los estudios de Bernstein. Su trabajo resultaría muy aportante porque gracias a él los científicos lograrían manipular las células nerviosas y hacer mediciones y observaciones que hasta el momento habían sido imposibles.

Con la estructura hallada los científicos iniciaron investigaciones. Las preguntas en cuanto a las partículas electromotivas, el desencadenamiento del impulso, la responsabilidad de la membrana en él, los mecanismos que generan los cambios en el potencial aún no estaban resueltas.

Cole y Curtis en 1938 hicieron mediciones en el axón gigante del calamar con electrodos hallando cambios en la impedancia, pero no en la capacitancia, corroborando lo expuesto por Bernstein sobre la relación entre el potencial de acción y el cambio en la selectividad de la membrana.

Años después iniciarían una serie de trabajos teóricos y experimentales fundamentales en la explicación del fenómeno. Alan Hodgkin se interesaría en hacer prácticas experimentales para explicar el mecanismo de funcionamiento del impulso nervioso. En 1935 utiliza el osciloscopio¹² para hacer mediciones del potencial, este instrumento resultaría más preciso que el galvanómetro y le permitió observar aspectos importantes como:

- a. Las cargas pueden entrar si cargas similares salen como ocurre con un cable.
- b. La corriente sale por un punto diferente del cual entró.
- c. La corriente despolariza una zona de la membrana y excita una nueva región por donde entra.
- d. El proceso se repite y pasa a las zonas que se encontraban en reposo.

De lo anterior es posible inferir la noción de un impulso en espiga, es decir que viaja sólo en una dirección de la neurona sin devolverse, la idea de repolarización y de intercambio de cargas.

Posteriormente continuó con su trabajo, pero experimentó con patas de cangrejos apoyando los trabajos realizados por Katz¹³ logrando explicar los cambios ocurridos en el potencial cuando éste se acercaba al umbral gracias al cambio en el medio del axón sumergiéndolo en aceite. En 1938 Hodgkin conoce a Andrew Huxley con quien trabajó en los experimentos de los cangrejos y

¹² El primer osciloscopio fue desarrollado en 1897 por Carl Ferdinand Braun como resultado de una adaptación de tubos de rayos catódicos. Este instrumento permite representar gráficamente señales eléctricas de manera precisa.

¹³ Bernard Katz desarrollo su trabajo en torno a la interacción entre el nervio y los músculos y al proceso de sinapsis gracias al cual obtuvo el premio Nobel en 1970.

hallan una diferencia de -72mV entre el potencial de reposo y el de acción, sin embargo, sus trabajos se pospusieron hasta finalizada la segunda guerra mundial.

A partir de los trabajos de Bernstein, Hodgkin y Huxley comenzaron a sospechar que el responsable del sobretiro en el potencial de acción era el sodio y junto con Katz desarrollan trabajos experimentales en las patas de los cangrejos y establecieron analogías con lo que ocurría en el agua de mar con las concentraciones iónicas. Formularon una hipótesis exponiendo que en el medio intracelular la concentración de potasio era mayor que la de sodio y por tanto si ocurría un potencial de acción era porque la membrana se volvía selectiva para éste y no para el potasio. Para comprobarlo colocaron fibras nerviosas en medios sin sodio en cuyo caso no se presentaba el potencial, pero al colocarlas en agua de mar se restituía.

Este hallazgo es importante para dos cuestionamientos mencionados anteriormente, el primero sobre quienes eran las partículas electromotivas y el segundo la acción de la membrana en su movimiento.

El paso siguiente fue su trabajo con el axón gigante del calamar para lo cual los conocimientos químicos de Richard Keynes, David Hill y Peter Lewis fueron determinantes ya que les brindaron elementos para explicar el potencial de acción. Su hipótesis fue que los iones de sodio eran transportados a través de la membrana por un portador cargado negativamente, fijo en el potencial de reposo debido a cargas electrostáticas, pero que se mueve por la despolarización aumentando su efecto por la combinación de Calcio presente en el exterior. En su trabajo experimental cuando bajaron la concentración de sodio de 1 a 5 el potencial se redujo a -72 mV . Hallaron además la reducción en la conductancia cuando esta alcanza su umbral (HODGKIN & HUXLEY, 1952). Para poder obtener estos resultados utilizaron la técnica “control de voltaje” o

“voltage clamp” creada por Cole quien anteriormente en 1947 les había comunicado su éxito en el axón gigante. Esta técnica mantiene el potencial de membrana constante y a la vez mide la corriente que pasa a través de la membrana. Al mantener el potencial de membrana constante consigue que la corriente sea linealmente proporcional a la conductancia estudiada. (DELACROIX) Este método además evita que la membrana de la neurona tenga una respuesta del todo o nada como era de esperarse siempre que se estimulaba lo que a su vez facilitaba la toma de datos para la llegada del estímulo, el potencial de acción y el restablecimiento del potencial de reposo.

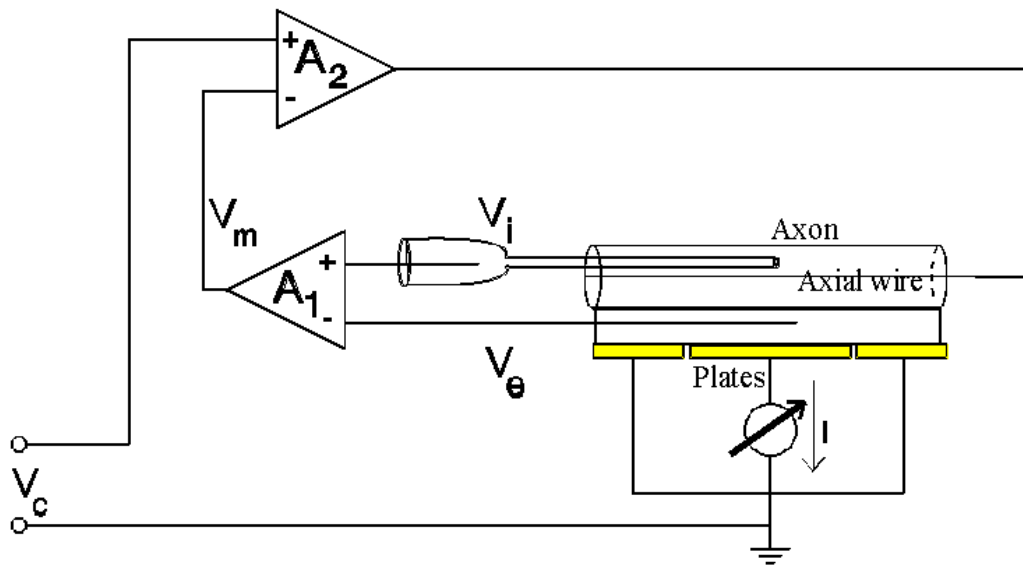


Ilustración 11. Control de voltaje en el axón gigante del calamar. V_i es la medición del potencial interno con una pipeta insertada en el axón. V_e es la medida del potencial externo por un electrodo externo. $V_m = V_i - V_e$ es calculada por el amplificador A_1 . A_2 compara V_m con V_c (que es la tensión de comando) para inyectar la corriente I , que mantiene V_m en V_c . La corriente se inyecta por el alambre axial y cruza la membrana del axón, se drena por las placas de la cámara y es medida con un dispositivo de medición de corriente.

¿Cómo lo llevaron a cabo? Cambiaron el potencial de membrana dejando un área con isopotencialidad (control de espacio) y llevaron a cabo la técnica de control de voltaje a la vez. Posteriormente ocasionaron un cambio en el potencial lo que aumentó la conductancia de la

membrana y como consecuencia provocó el movimiento de iones y por ende una corriente eléctrica. Luego, la corriente es retirada y la membrana es separada en sus tres componentes. Así se miden las conductancias individuales del sodio y el potasio. Es importante recordar que los canales son específicos lo que facilita la medición. Finalmente se reintroduce el potencial y se hallan las relaciones voltaje y tiempo y conductancia. Las variables restantes en la ecuación son conocidas ya que se trata del voltaje que corresponde a la corriente que se pasa y que está determinada por el circuito y los potenciales de equilibrio entre los iones que también pueden ser hallados. (HODGKIN & HUXLEY, 1952).

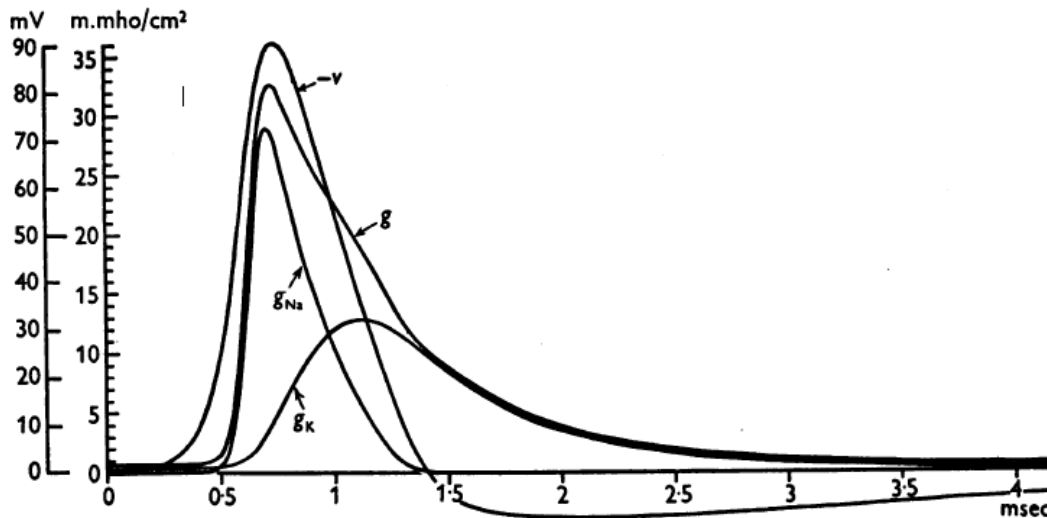


Ilustración 12 Figura realizada por Hodgkin y Huxley que muestra la solución numérica de una de sus ecuaciones en la que se muestra los componentes que intervienen (g_{Na} y g_K) en la conductancia de la membrana (g) durante la propagación del potencial de acción. (HODGKIN & HUXLEY, 1952)

Los resultados de su trabajo fueron publicados en 1952 donde exponen la matematización del proceso, lo que permitió formular los potenciales como leyes científicas y precisaron de manera detallada los valores y condiciones del potencial de acción y reposo que en síntesis se presentan así:

- a. La membrana tiene canales que facilitan el paso de los iones.
- b. El movimiento de los iones produce corrientes eléctricas en lo que se ha denominado potencial de acción.
- c. Dicho potencial ocurre cuando entran los iones de sodio y con ellos las cargas positivas que invierten parcialmente la polaridad interna de la neurona.
- d. La conductancia disminuye en razón del tiempo en el que la neurona alcanza su máximo potencial.
- e. Los iones de potasio también se transportan en razón del tiempo y se restablecen luego del potencial de acción.

Sin duda la capacidad de Hodgkin y Huxley para hacer trabajos experimentales, relacionar sus resultados, hacer uso de las investigaciones y experimentos anteriores, inferir y matematizar fueron valiosos en la construcción del concepto impulso nervioso, sin embargo, no se puede desconocer que también fue el resultado de un proceso iniciado siglos antes. Tan valioso como la relación establecida por Galvani en cuanto a lo eléctrico o de la naturaleza del impulso expresada por Du Bois- Reymond. El impulso nervioso se constituye en sí, como el resultado del estudio en cuanto a lo físico, con el requerimiento del estudio de las estructuras implicadas desde lo biológico para comprender su acción y con la relación de las sustancias que requieren los estudios de la química en su fisiología. Un problema de conocimiento que pasa por el saber disciplinar y que resulta de un proceso de construcción que no se aparta de los contextos culturales e históricos. Esta visión lo aleja de un saber dado, de un descubrimiento puntual o de una definición obtenida a partir de un único proceso en un tiempo determinado, lo que en consecuencia lo constituye también como un problema de conocimiento en el aula.

5. INTERVENCIÓN EN EL AULA

La construcción de explicaciones en la ciencia son resultado de un proceso que pasa por diferentes estadios, las preguntas en torno a los fenómenos han estado vinculadas con la experiencia que se tiene en un momento dado, con el contexto, las construcciones teóricas previas, los intereses particulares, y otra serie de elementos que permiten la emergencia de las mismas. De igual forma en el aula no podemos pretender que con la definición de impulso nervioso se tenga certeza sobre la forma como sucede, la relación con las acciones en las que se responde a los estímulos, los elementos históricos e incluso epistemológicos que aportaron a su construcción y con los cuales resulta más sencilla la comprensión de su naturaleza. La intervención que se lleva a cabo en el aula corresponde al trabajo descrito en la metodología y a la puesta en juego de una serie de construcciones que permitan mejorar la práctica docente a partir de la emergencia del impulso nervioso como problema de conocimiento.

El desarrollo ocurre en tres fases que se describen a continuación. Cada una de ellas contiene una serie de actividades que a su vez se derivan en acciones, cuestionamientos y análisis seguidos de procesos de socialización.

Durante su planeación se tuvieron en cuenta los propósitos como las metas que el docente desea alcanzar con sus estudiantes.

5.1 FASE I. Mi cuerpo responde a los estímulos

Esta fase busca hacer evidente para los estudiantes la capacidad que tiene su cuerpo de responder a los estímulos del ambiente y la variedad de posibilidades que existen para dicha respuesta. La intención del maestro es cuestionar la experiencia básica que tienen los estudiantes y su capacidad para explicar los hechos que cotidianamente pueden ocurrirle pero utilizando lenguaje y conceptos desde la biología, como es el caso de los estímulos y las respuestas frente a ellos. Es valiosa porque permite identificar en los estudiantes el reconocimiento de los estímulos y las respuestas, a su vez los elementos que van a ser usados por los estudiantes para la explicación y en ello los sistemas y estructuras que logran involucrar. También permite generar la ruta que va a seguirse en adelante, ya que una de las características de la metodología trabajada es justamente el construir a partir de la retroalimentación de cada actividad planteada, es decir, las actividades descritas no fueron elaboradas en su totalidad de manera anticipada, sino que fueron construidas según los resultados obtenidos en cada sesión.

Esta primera fase está dividida en tres momentos, cada uno de ellos desarrollado en una guía de trabajo con actividades diferentes. (Ver tabla de resumen 1)

Tabla 1 Resumen de actividades fase I

FASE I	Propósitos	Actividades	Descripción
<i>Mi cuerpo responde a los estímulos</i>	Reconocer las explicaciones que tienen los estudiantes acerca de la capacidad que tienen de responder voluntariamente a los estímulos del ambiente.	¿Cómo respondo a los estímulos del ambiente?	A partir de una experiencia (Anexo 1) los estudiantes explican cómo creen que es posible responder voluntariamente a los estímulos.
	Identificar las ideas y contrastaciones que pueden hacer los estudiantes sobre la posibilidad de responder a los estímulos de manera involuntaria.	¿Por qué no controlo siempre lo que hago?	Para lograr contrastar la experiencia anterior con la posibilidad de responder involuntariamente a los estímulos, se lleva a cabo la experiencia 2 (Anexo 2).
	Permitir a los estudiantes dar explicaciones acerca del experimento realizado por Galvani en ranas.	¿Es posible moverse cuando se ha perdido la cabeza?	Los estudiantes observan el video acerca de un experimento que se lleva a cabo con una rana en un aula de clase con niños. El experimento es similar al realizado por Galvani, excepto por la presencia de sales. En parejas llevan a cabo unas actividades de observación y explicación. (Anexo 3). https://www.youtube.com/watch?v=sJifWqUa2pY
	Analizar las explicaciones desarrolladas por los estudiantes relevando el trabajo de construcción conceptual colectiva.	¿Cómo explico lo que ocurre?	Los estudiantes elaboran gráficas con diferentes perspectivas para explicar las repuestas a los estímulos eléctricos observadas en el video anterior en una rana. Del sistema a las partes. Posteriormente explican a sus compañeros las explicaciones elaboradas.

Actividad 1. ¿Cómo respondo a los estímulos del ambiente?

En este primer momento se utiliza como punto de partida la experiencia de los estudiantes con estímulos que permitan respuestas voluntarias. La guía está estructurada en dos partes. En la primera de ellas los estudiantes hacen lectura de una tira cómica y dan solución a tres preguntas que están encaminadas a la identificación de los estímulos y las respuestas. Durante su desarrollo todos logran identificar en la situación que está generando la respuesta del personaje. Frente a la pregunta ¿qué estímulos y respuestas identificas en la caricatura? Los estudiantes escriben como estímulos: “sopa y panqueques” y como respuestas “desagrado, enojo, asco” con relación a la sopa y “el cambio de opinión y la decisión de tomarse la sopa” frente al ofrecimiento de los panqueques. Aunque logran reconocer lo que está estimulando al personaje no lo relacionan con cambios que generan respuestas, pero de forma general se cumple con la intención de la actividad y tienen la noción de estímulo - respuesta en una situación concreta y particular que por ahora es importante para el trabajo en torno al impulso nervioso.

La segunda parte son dos juegos de imitar, en el primero cada estudiante elige e imita uno de los personajes y en el segundo según sean hombre o mujer siguen los pasos de just dance. Además de ejercitarse y romper la monotonía del aula que usualmente acompaña las clases de ciencias esta actividad busca que los estudiantes reconozcan la capacidad que tienen de responder de forma voluntaria, en este caso a través del movimiento de su cuerpo, a una instrucción o estímulo dado. También busca que los estudiantes expliquen por qué lo anterior es posible y para ello se formulan cuatro puntos. En el primero se les solicita escribir en tres pasos qué tuvieron que hacer para imitar los personajes de los videos. El segundo punto plantea clasificar los estímulos que recibieron; en este caso los estudiantes los nombraron de forma similar a como lo hicieron con la

tira cómica y no se evidenció una clasificación clara. Se encontraron respuestas como “la luz de la pantalla, las ondas sonoras, la música, imagen, sonido”

Estos dos primeros puntos están relacionados con el ejercicio de la tira cómica y las respuestas son coincidentes en cuanto logran identificar qué funciona como estímulo en una situación particular pero no lo relacionan con cambios ni los clasifican en términos de físicos, químicos, mecánicos, entre otros. Entenderlos como cambios es relevante cuando se hable del umbral que permite desencadenar el impulso nervioso, así que es un aspecto que más adelante hay que hacer más evidente para ellos.

Actividad 2. ¿Por qué no controlo siempre lo que hago?

Las actividades se trabajaron en parejas, fueron planteadas a partir de los hallazgos de la guía 1 y con el fin de poner en evidencia las respuestas involuntarias de nuestro cuerpo o las no razonadas que para ellos pueden ser más visibles.

La primera actividad consistía en leer el fragmento del poema Mariposas en la barriga de Ángel Reyes Burgos y explicar la afirmación de “sentir mariposas cuando ve a la persona que le atrae”. Para ello se les recordó lo que suelen experimentar cuando sienten atracción por alguien verbalizado en este caso por el autor como mariposas. El ejemplo se utilizó para hacer uso de herramientas diversas como la poesía que nuevamente abandonan los esquemas tradicionales en la clase de Ciencias Naturales, pero a su vez porque en la edad que promedian los estudiantes estas situaciones son comunes y de gran importancia por lo cual era más probable capturar su atención. Al revisar sus respuestas aproximadamente la mitad del grupo le asignó razones emocionales, sentimentales y no tuvieron en cuenta las reacciones de su cuerpo o la biología del mismo. Como si responder sin controlar no dependiera de sus órganos: “*por sus emociones y sus intenciones hacia esa persona*”. La otra mitad del grupo hace referencia a estímulos, cerebro y

corazón, dando razones más relacionadas con respuestas del organismo: *“porque al ver a la chica que le gusta se alteran las hormonas”*. Como un complemento a la primera actividad, en un segundo punto se les solicita explicar por qué el cuerpo reacciona con tantos cambios y aquí las respuestas fueron más homogéneas coincidiendo en responsabilizar al corazón, los nervios y el cerebro de tales reacciones: *“porque nos dan nervios y el corazón se acelera y esto hace que bombee más rápido la sangre”*.

La segunda parte se denominó: Experimentemos con nuestro cuerpo. En esta se proponen dos actividades que van a generar respuestas involuntarias cumpliendo con la intención de esta nueva guía. En primera instancia se solicita a los estudiantes describir lo que ocurre en cada caso.

La tercera parte de la guía se denominó: Expliquemos qué ocurrió. Para esta parte se proponen tres actividades. El primero, explicar por qué el cuerpo respondió de manera diferente a como lo hizo en la actividad 1.1 de la primera guía y se les brindan los criterios de clasificación: tiempo de reacción y voluntad. Todos los grupos afirmaron que en la actividad llevada a cabo en la primera guía las acciones eran voluntarias y las de esta guía involuntarias y más rápidas: *“en el ejercicio 1 lo hicimos por voluntad propia y el ejercicio 2 fue involuntario porque no sabíamos la respuesta que íbamos a tener. En el ejercicio 1 fue más demorado en cambio en el ejercicio 2 fue instantáneo”*. Se puede considerar a partir de las respuestas, que los estudiantes lograron identificar otra forma de reacción diferente a la voluntaria y controlada sin embargo en la siguiente pregunta hacen evidente que siguen pensando que es el cerebro el único responsable de lo que ocurre por lo cual es necesario proponer una nueva situación que los lleve a pensar en respuestas no mediadas por el cerebro y que permita resaltar el papel de los nervios y las neuronas en las respuestas del sistema nervioso. Para finalizar esta guía y reafirmar si han logrado identificar las respuestas rápidas e involuntarias es decir las acciones reflejas, se les

solicita escribir tres ejemplos de situaciones en las que su cuerpo haya respondido de esa forma. Sólo tres grupos no lograron identificar de manera correcta los ejemplos, los grupos restantes utilizaron ejemplos como: *“cuando uno tropieza y vuelve a tener equilibrio”*, *“cuando tomamos una olla caliente y retiramos rápido la mano”*. Con las acciones reflejas identificadas con mayor claridad la siguiente guía debe ayudar al propósito planteado anteriormente, es decir, a apartarlos de la noción del cerebro como único actor y responsable de las reacciones del cuerpo a los estímulos.

El tercer punto pide a los estudiantes explicar cómo es posible cumplir con la actividad propuesta. En esta parte se encontraron dos tipos de respuestas. Unas enfocadas a la posibilidad de imitar y de reacción que tiene el cuerpo y otras respuestas relacionaban al sistema nervioso o alguna de sus partes con la posibilidad de moverse e imitar.

Frente a la posibilidad de que ocurrieran explicaciones en las cuales se pasaran por alto las estructuras del cuerpo responsables del movimiento y de responder a los estímulos, en el cuarto punto se solicita a los estudiantes especificar las estructuras involucradas y la forma como responden los huesos y músculos a lo que desean hacer mientras se mueven. Todos los estudiantes afirman que el responsable del movimiento de los huesos y músculos es el cerebro. Algunos nombran el sistema nervioso y elaboran respuestas más específicas involucrando los ojos y los oídos como responsables de la posibilidad de ver y escuchar para imitar.

Es común que la responsabilidad de casi todo lo que ocurre con nuestro cuerpo se le delegue al corazón y al cerebro. Sin embargo, es importante evidenciar que también hay respuestas involuntarias, no mediadas por el cerebro, y que relevan más el trabajo de las neuronas y por ende la importancia y naturaleza del impulso, así que la próxima guía de trabajo buscará que los estudiantes identifiquen este tipo de respuestas e intenten explicarlas. Es tratar de desajustarlos de la zona confortable que brinda el cerebro como respuesta a todo.

Actividad 3 ¿Es posible moverse cuando se ha perdido la cabeza?

Esta guía se propone inicialmente para conflictuar a los estudiantes con el papel protagónico que dan al cerebro como único responsable de las reacciones de los organismos, a su vez propone el uso de herramientas tecnológicas como instrumentos de apoyo dentro del aula de clases. Otro aspecto importante es acercarlos al experimento llevado a cabo por Galvani, valioso en el estudio del impulso nervioso en cuanto dio un carácter eléctrico a esta función biológica que hasta entonces no se había contemplado, pero adicionalmente desató una controversia con Volta que abriría un camino de explicaciones y experimentaciones enriquecedoras para la comprensión del mismo. Sin embargo, hay un aspecto importante que se debe tener en cuenta, el experimento que se mostró en la tableta no solo tiene en cuenta un estímulo eléctrico sino también las sales que evidentemente no fueron usadas por Galvani pero que en nuestro caso son relevantes porque el objetivo es que los estudiantes establezcan relación entre la corriente generada y la presencia de ciertas sustancias.

Para ayudar con el análisis y la identificación de ciertas variables importantes para la consecución de la estrategia se formularon cuatro puntos. El primero hace énfasis en que la rana está decapitada pero que al ser estimulada se mueve y se les solicita explicar este hecho. Todos coinciden en que la razón del movimiento de la pata de la rana son las descargas eléctricas que está recibiendo y a la sal que luego se agrega: *“Por medio de la estimulación eléctrica al haber conectado una de sus piernas y al pasar electricidad logra moverse pero cuando le echan la sal es un movimiento más rápido, lograba mover sus extremidades y se retorció”* Un pequeño grupo de estudiantes omiten la información sobre la sal y sólo se refieren a las descargas: *“cuando ellos le colocan los chinchas hace pasar corriente la cual hace posible que la pierna o pata de la rana se empiece a mover”*.

Previendo que algunos estudiantes pasaran por alto la sal y sus efectos en el segundo punto se propone que identifiquen el momento en el cual los movimientos de la rana son más fuertes y todos coinciden en que es cuando se adiciona la sal.

La intención del tercer punto es que los estudiantes logren explicar porque la sal ocasiona estos efectos, teniendo en cuenta que el impulso nervioso requiere del intercambio de iones y que no es de interés en este trabajo detenerse solo en la noción de corriente como la que se conduce en un cable metálico. Los estudiantes respondieron bajo tres miradas diferentes: la sal unida a la electricidad que provoca movimiento, la sal como una sustancia fuerte que genera la reacción y la sal como una sustancia irritante. El primer caso es el más numeroso en esta respuesta los estudiantes ligan la acción de la electricidad transmitida por los cables a los alfileres con la acción de la sal y a esta mezcla atribuyen el cambio brusco en los movimientos de la rana expresado como: “la sal y la electricidad se mezclan y los nervios se empiezan a mover”.

El segundo caso lo presentaron cuatro grupos, los cuales asimilaron la sal como una sustancia muy fuerte que era capaz de ocasionar los movimientos en la rana, la palabra fuerte puede estar relacionada con lo que la sustancia es capaz de hacer en un animal que ya está muerto – es tan fuerte que la mueve- *“seguro el químico es muy fuerte y como sus músculos están activos reacciona al químico”*. La tercera explicación fue tenida en cuenta por cuatro grupos y obedece a la relación que hacen los estudiantes con la sal como una sustancia irritante, incluso algunos de ellos utilizan ejemplos de esta condición al exponer la piel u otros animales a esta sustancia y afirman que al tener la piel descubierta la sal generó irritación y por tanto movimiento: *“porque al echar la sal pasa como con los caracoles, pues se irrita la piel o la carne del animal y se comienza a mover de manera continua”*.

En el cuarto punto los estudiantes deben hacer una relación entre lo ocurrido con la rana y la posibilidad de que al cuerpo humano le ocurra lo mismo. En este punto aproximadamente la

mitad de los grupos afirmaron que sí, e hicieron relación con la condición animal de los humanos e infirieron similitudes en nervios, músculos, y funciones: *“si porque nuestro cuerpo también posee sistema nervioso”*. La otra mitad de los grupos no consideró posible que los humanos respondieran igual que la rana a los estímulos y justificaron su respuesta inicialmente en que los humanos no son animales y por tanto sus cuerpos y sus sistemas también son diferentes, así como la forma en que reaccionan a los estímulos eléctricos y a la sal: *“no es posible porque nosotros no somos animales”*.

A partir de esta guía surgieron varias inquietudes: ¿cómo están percibiendo la reacción de la rana los estudiantes, es decir, ¿cómo imaginan que pasa todo en el cuerpo de la rana sin vida? ¿Qué imagen tienen de los nervios con relación a la respuesta y a los músculos? ¿Cómo creen que pasa la corriente y qué creen que ocurre con la sal de manera más específica? Para tratar de resolver estas preguntas y abrir un espacio de explicación un poco más detallado, resulta útil que grafiquen la explicación que están construyendo.

Actividad 4. ¿Cómo explico lo que ocurre?

Las inquietudes surgidas en las actividades de la guía número 3 permitieron plantear esta nueva guía como un complemento a la explicación hecha por los estudiantes. Las gráficas permiten evidenciar aspectos que se hayan pasado por alto en las respuestas que hicieron a los planteamientos frente a lo observado en el video y al maestro le permite encontrar elementos nuevos que ayuden a determinar el curso de las actividades siguientes. La guía presenta un cuadro con tres ejercicios de graficación diferentes que van de lo general hasta lo particular, de la observación directa a la inferencia.

En primer lugar, se les solicitó realizar un dibujo con el máximo de detalle de lo que ocurre con la rana en el video cuando mueve la pata. Para ejemplificar un poco mejor y que los estudiantes comprendieran lo que se les estaba solicitando se mostró con ayuda de un video beam imágenes de dibujos científicos de otras estructuras para no afectar su construcción y de manera adicional se les colocó un cuadro al lado de la gráfica para que hagan las descripciones de lo que quieren representar con el dibujo. Todos los estudiantes graficaron la pata abierta de la rana, los dos alfileres dentro de ésta, el caimán, los cables y la batería; ubicaron la rana en la posición en la cual se encontraba en el video, sin piel, abierta en el abdomen y sin cabeza. Dibujaron dentro de la pata una estructura alargada de otro color, algunos utilizaron el blanco y otros el rojo y los alfileres clavados en esta estructura. El caimán lo dibujaron conectado a uno de los alfileres. Al revisar los escritos, aproximadamente la mitad de los grupos hicieron referencia a los alfileres que pasaban la electricidad y estaban conectados con los nervios de la rana; tres grupos aseguraron que los alfileres estaban conectados a los tendones y los grupos restantes afirmaron que la electricidad pasaba por la pierna y ésta se movía, pero no especificaron el punto exacto a donde estaban conectados los alfileres. Sólo ocho grupos tuvieron en cuenta la sal y afirmaron que junto con la electricidad facilitaba el movimiento de la pata.

En el segundo dibujo propuesto los estudiantes deben graficar la rana como si la estuvieran viendo desde adentro o con rayos X cuando se ha estimulado y mueve su pata. Se les sugiere que señalen las partes más importantes de su dibujo. Esta vez detallan en la pata y lo que se encuentra en el interior. El objetivo aquí es incentivarlos a que pongan en evidencia la estructura que interviene y de esta forma poder saber si están contemplando los nervios o si están asignando la respuesta a otras estructuras. Respecto a esto la mitad de los grupos nuevamente asignan a los nervios la respuesta de movimiento, en la mitad restante se observan tres clases de repuestas: los tendones como los responsables, siendo esta la de mayor acogida en los grupos, los músculos y

los tendones, usada por un grupo y la sangre que relacionaron con la respuesta únicamente tres grupos. Al revisar cómo habían graficado la estructura a la que relacionaron con el alfiler, la mayoría de los grupos lo hicieron en forma de fibra, hilo o cordón y una minoría lo hizo como un grupo de células redondeadas de forma similar a como se observa un tejido epitelial al microscopio.

El tercer dibujo se trata de una representación gráfica de lo que ocurre en la rana para que se mueva con los estímulos a pesar de estar muerta, usando símbolos. Se aclara que sólo deben detallar la pata y lo que ocurre en su interior al nivel más micro posible, es decir si están pensando en un nervio, cómo es éste por dentro y cuál es la acción de la electricidad y la sal en esta estructura para que ocurra el movimiento. Esta parte les ocasionó dificultad y tardaron más tiempo que con los anteriores porque se trataba de un ejercicio inferencial y explicativo, de una construcción que les permitiera dar cuenta de lo que estaba pasando con mayor detalle y claridad. Los estudiantes percibieron el nervio o el tendón como un cordón o una estructura fibrosa, Otros en menor número graficaron dentro de este cordón unas estructuras circulares que denominaron células. A la sal la pusieron externa al proceso y en la mayor parte de los grupos externa al nervio en forma de círculos pequeños como ven la sal común, es decir como pequeños granos blanquecinos. En cuanto a la electricidad que han venido mencionando desde el inicio de esta guía todos asumieron su paso como si fuera el cable de cobre de un electrodoméstico y a la sal como un ayudante en ese paso, aunque no especifican claramente su papel, se ve allí casi superpuesta.

En una sesión siguiente se llevó a cabo una socialización de las explicaciones elaboradas por los grupos. Inicialmente los estudiantes se mostraron tímidos y temerosos de exponer sus

construcciones frente al curso, al preguntarles la razón de sus ideas o las argumentaciones de sus gráficas estaban dubitativos. Pero en esencia confirmaron lo que sus dibujos ya evidenciaban.

De esta última actividad y en contraste con las anteriores se determinan varios aspectos importantes:

- No hay claridad frente a la estructura que está siendo estimulada por la electricidad y que se conecta con los alfileres.
- Aunque se sabe que la corriente está pasando y ocasiona movimiento, su relación con la sal no es clara como tampoco el mecanismo que permite el paso a través de la estructura y por ende el movimiento.
- Los estudiantes asumen el nervio o tendón según sea el caso, como un cordón ininterrumpido, similar a un cable que permite el paso de la electricidad en el cual la sal no cumple un papel claro o determinante.
- En ningún grupo se ha tenido en cuenta la noción de tejido, célula, transporte de membrana y están apartados de la morfología para explicar la fisiología.
- Por lo anterior, la noción de contigüidad no es contemplada, se asume de forma indirecta la noción de un tejido continuo, nuevamente como un cable de corriente.
- La explicación de lo ocurrido está limitada sólo a lo físico del proceso, pero no se ha relacionado con lo químico y lo biológico claramente.

5.2 FASE II La naturaleza del impulso nervioso (Ver Tabla 2)

Una de las herramientas de las cuales hace uso la enseñanza de las Ciencias Naturales son las analogías, las cuales facilitan comprender las generalidades de cualquier hecho y motivan a los estudiantes en la formulación de preguntas y aclaraciones. En este caso se va a hacer uso de montajes experimentales que permitan a los estudiantes determinar el papel que puede llegar a tener la sal en el proceso de conducción de la corriente eléctrica y diferenciar en ello el comportamiento de los nervios para empezar a preguntarse en torno a su morfología.

Actividad 5. ¿Con sal o sin sal?

Esta guía está dividida en dos momentos y de cada uno de ellos los estudiantes por parejas elaboran una gráfica y llevan a cabo una explicación de sus resultados que será socializada a sus compañeros:

1. Experiencia demostrativa. Cada grupo pudo evidenciar tres circuitos que en común presentaban el cable de conducción, el enchufe, un bombillo en roseta, y estaban conectados al multímetro para que los estudiantes tomaran la medida de los voltios. Sin embargo entre los montajes, habían diferencias que apuntaban a hacer evidente lo que hasta ahora era desapercibido por ellos.

A. En el primer circuito, al ser conectado a la toma de corriente el bombillo se encendía.

Este registro un voltaje de entre 119 y 120 mv. En sus informes los estudiantes logran describir el montaje y grafican sus observaciones. Para explicar por qué se prende el bombillo inicialmente sienten que están cayendo en la obviedad y les cuesta explicar lo que todas sus vidas han visto, que al conectar un cable a la toma de corriente el aparato funciona o se prende. Algunos grupos llegan sólo hasta allí, a mencionar que se prende,

Tabla 2 Resumen de actividades fase II

FASE II	Propósitos	Actividades	Descripción
La naturaleza del impulso nervioso	<p>Relacionar experiencias analógicas de carácter eléctrico con la naturaleza del impulso nervioso.</p> <p>Analizar las explicaciones, observaciones e inferencias de los estudiantes en cuanto a los resultados de las experiencias analógicas.</p>	<p>¿Con sal o sin sal?</p>	<p>Los estudiantes en parejas llevan a cabo experiencias con circuitos abiertos y cerrados utilizando cables y sustancias químicas como conductores, observan cambios en la conducción de la corriente eléctrica en presencia de sustancias químicas conductoras y de estructuras nerviosas epiteliales y nerviosas.</p> <p>Socializan las explicaciones sobre los resultados de las experiencias realizadas.</p>
	<p>Facilitar en los estudiantes la observación de estructuras nerviosas e identificar en ellas las características tisulares.</p>	<p>Un vistazo a las estructuras nerviosas</p>	<p>Los estudiantes organizados por parejas observan al microscopio estructuras nerviosas con diferentes aumentos, grafican sus observaciones y describen las características más importantes.</p>
	<p>Facilitar en los estudiantes la contrastación del tejido nervioso con otros tejidos presentes en los animales poniendo en evidencia el asunto del reticularismo.</p>	<p>Más que a simple vista. Juntos pero no iguales.</p>	<p>Los estudiantes llevan a cabo un trabajo de observación de otros tejidos haciendo uso de una presentación de power point con microfotografías electrónicas. Registran sus datos en un cuadro y al finalizar establecen semejanzas y diferencias entre los tejidos observados y sus observaciones del tejido nervioso en el laboratorio.</p> <p>Socialización con el grupo.</p>

Pero la mayoría explican el por qué y lo atribuyen a que el cable por tener un metal por dentro, - algunos de ellos incluso mencionan el cobre -, es capaz de conducir o transmitir la corriente hasta hacer encender el bombillo. “el bombillo se enciende al enchufarlo a la energía eléctrica que se

transmite (transporta) por el cable hasta llegar a la roseta donde se prende”; “la electricidad pasa por medio de los cables gracias a su material

- B. El segundo presentaba un cable cortado que interrumpía el circuito y dejaba expuesto el cobre. Los estudiantes sumergían los cables en una solución de sacarosa al 30%. En sus informes registraron datos que oscilaban entre 0 y 0.03 milivoltios y aclararon tanto de forma gráfica como escrita que el bombillo no se encendía. Las explicaciones a este resultado tuvieron en cuenta dos aspectos, el primero que al estar cortado el cable no era posible conducir la electricidad que provenía de la toma corriente y el segundo que el agua con azúcar no servía para conducir la electricidad. *“el agua con azúcar no sirvió porque no es un buen transportador de energía eléctrica”*.
- C. Para finalizar observaron un tercer montaje en el cual estaba abierto el circuito con el cable cortado y el cobre expuesto pero esta vez los sumergían en agua con sal (NaCl) en una solución al 30%. En sus registros los estudiantes reportaron de 115 a 117 mili voltios y el bombillo encendido que nuevamente representaron de manera gráfica y escrita. En sus explicaciones hacen referencia a la capacidad de la sal y sus componentes para conducir la electricidad y a los resultados opuestos con relación al azúcar *“tuvo un efecto opuesto al anterior y lo más importante fue la sal pues puede transportar la energía eléctrica”*;

Los estudiantes evidenciaron motivación por las actividades y asombro al ver el resultado de la experiencia con la sal. Se logró hacer evidente el papel de las sustancias en la conducción eléctrica lo que ampliaba la explicación en torno a que la conducción funciona sólo cuando hay cables lo que a largo plazo facilitaría apartarlos de una visión corpuscular.

2. El papel de los nervios en la conducción. Para resaltar la función nerviosa y su mayor capacidad en la conducción de la electricidad se planteó una actividad experimental en la que se pudiera comparar cuántos mili voltios pasan a través de un nervio de ala de pollo y cuántos a través de las células epiteliales. No se controlaron tiempos de muerte ni de exposición al frío, en parte porque se quería determinar si este tipo de variables iban a incidir en los resultados, sólo se controló la estructura estudiada que fue un ala de pollo y que no tuviera indicios de necrotización de tejidos ni de descomposición. Cada grupo contaba con su material y bajo la supervisión de la docente se manejó la fuente de poder y el multímetro que por la experiencia anterior conocían su funcionamiento y podían analogar los valores con la conducción por lo observado con el bombillo al encenderse o permanecer apagado.

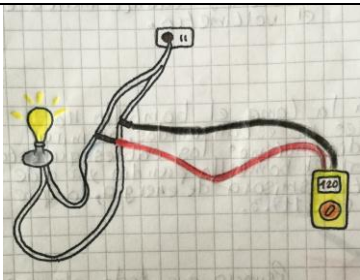
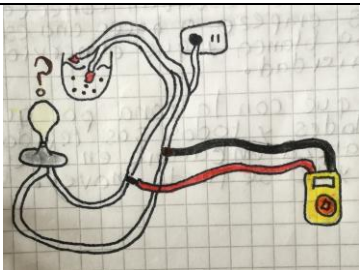
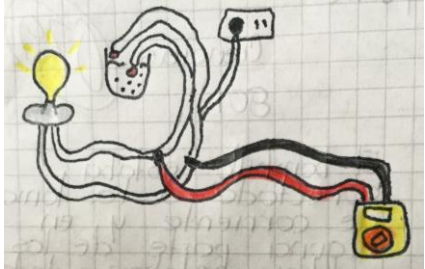
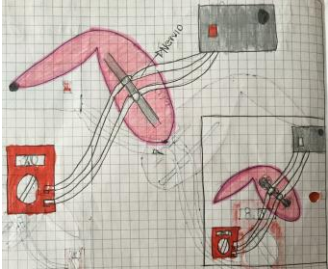
Para esta experiencia los estudiantes diseccionaron el ala, separaron la piel y dejaron expuesto el nervio, esto último causó dificultades pues fácilmente se confundía con un tendón sin embargo al hacer el paso de la electricidad ellos mismos sospechaban que no habían seleccionado la estructura correcta porque en lo visto con la rana y en sus explicaciones anteriores le habían dado al nervio unas características relacionadas con la posibilidad de conducir la electricidad. Posteriormente se llevaban a cabo dos experiencias de las cuales hacían registros gráficos y escritos para luego explicarlas de manera comparativa:

- A. Se conectaban los electrodos de la fuente de poder a la piel junto con el multímetro registrando los valores obtenidos y luego se repetía el proceso, pero con el nervio. Los estudiantes registraron resultados para piel desde 0.9 hasta 1.8 mv y para el nervio desde 25 hasta 30 mv.
- B. En un segundo momento con los electrodos conectados a las estructuras mencionadas los estudiantes añadieron unas gotas de solución ringer. Esta solución fue elegida porque

cumple las características de la solución salina presente en nuestro cuerpo y de la cual se les aclaró su contenido y porcentajes. Los resultados obtenidos para piel oscilaron entre 1 y 1.9 mv. En el caso del nervio se registraron valores de 40 a 41.9 mv.

Además de las descripciones y los registros de datos los estudiantes elaboraron gráficas de los procesos y sus resultados:

Tabla 3. Gráficas elaboradas por los estudiantes a partir del trabajo experimental de analogía con circuitos y alas de pollo

 <p>Circuito cerrado</p>	 <p>Circuito abierto en contacto con agua con sacarosa</p>
 <p>Circuito abierto en contacto con agua con NaCl</p>	 <p>Nervio de ala de pollo con fuente de poder y multímetro</p>

En estos resultados es posible que la solución ringer por si misma haya ejercido acción en la conducción, por ello era necesario comparar el resultado del nervio con otra estructura del ala que de alguna manera facilitara hallar evidencias a favor de la conducción nerviosa. Las comparaciones establecidas en el informe por los estudiantes estaban dadas entre piel y nervio como también entre piel y nervio en presencia de solución ringer.

Todos los estudiantes coincidieron en afirmar que la electricidad se conducía con mayor facilidad en el nervio y sobre todo en el nervio con solución ringer. *“el nervio marca más que la piel del ala con o sin ringer, conduce mejor el nervio que la piel”*.

En una sesión siguiente al laboratorio se llevó a cabo el proceso de socialización. Este es valioso en cuanto permite intercambiar ideas y construcciones de los estudiantes frente a las observaciones en el trabajo experimental. Las explicaciones de unos grupos sirven como base para los demás o como punto de discusión. Con relación a la socialización anterior esta vez se mostraron con mayor disposición y seguridad e incluso pedían la palabra porque no querían que otro grupo se adelantara a sus explicaciones. En esta socialización los estudiantes expresaron lo que habían relacionado en sus informes, es decir, la cualidad que tienen los metales en especial el cobre de conducir la electricidad y el papel de la cubierta plástica como un aislante. Hicieron mención de la sorpresa que les había causado el resultado del experimento con la sal y enunciaron la facilidad con la que se conduce la electricidad en su presencia aludiendo con ayuda de preguntas orientadoras de la docente el video de la rana y haciendo relación con el efecto al aplicar la sustancia blanca y en polvo a la cual relacionaron de manera directa con las sales.

Respecto al nervio y la piel trabajados, dieron cuenta del mayor voltaje cuando la fuente de poder se conectó al nervio relacionando esto con el comportamiento de esta estructura en otros momentos como en el video de la rana. Establecieron comparaciones con la piel y con los resultados cuando se agregó la solución ringer. Para este último momento hicieron referencia a la composición de la solución que es en su mayoría de sales e inmediatamente relacionaban la solución con el experimento que se hizo del bombillo y la solución de agua con sal. Cuando se les pregunta cómo imaginan el nervio para llevar a cabo esta conducción ellos dicen que debe ser similar al cable de cobre con el que la mayoría de los electrodomésticos funcionan. Al indagar

sobre su composición precisa y la disposición de los componentes ellos lo asumen como un continuo, en la mayoría no hay visión del componente celular.

Actividad 6. Un vistazo a las estructuras nerviosas.

A partir de las explicaciones de los estudiantes y sus socializaciones se evidenció un desconocimiento de la neurona como unidad del sistema nervioso por lo cual es necesario familiarizarlos con ella antes de dar una explicación directa sobre su estructura y su función. Se propone un laboratorio de observación microscópica de micropreparados de cortes de estructuras del sistema nervioso. Los estudiantes organizados en parejas, deben dibujar y describir lo que observan al microscopio.

En el momento de la práctica la docente indagó a los estudiantes sobre su conocimiento de los lentes, los objetivos, el funcionamiento general del microscopio y se determinó que no sabían cómo funcionaban los objetivos o lo que significaba poner una muestra en 10X con relación a una que se pone en 40X, por lo cual fue necesario dar una introducción del manejo del microscopio e interpretación de lo que se observa en los objetivos con el fin de correlacionar sus observaciones.

Los estudiantes observaron: Encéfalo de mamífero (10X), Médula espinal (4X y 40X), nervio óptico (10X), nervio periférico (10X). En sus descripciones y dibujos se destacaron estructuras amorfas, formas irregulares, no hay percepción de estructuras celulares claras sino de imágenes y descripciones reticularistas. Hacen referencia a los axones como estructuras alargadas, pero no las relacionan con células o como parte de una célula *“se observan estructuras alargadas de color amarillo oscuro”*. En vista de que no encontraron imágenes claras de una neurona y su estructura y de que durante el laboratorio preguntaban si las células eran diferentes o iguales, era

necesario ayudarlos a reconocer las diferencias entre las células y la relación de ello con sus funciones particulares, por tanto, se planteó una actividad que facilitara la comparación y a la vez el reconocimiento de la neurona.

Actividad 7. Más que a simple vista. Juntos, pero no iguales.

Para esta guía la docente ha preparado una presentación en Power Point con imágenes de fotografías electrónicas y modelos didácticos de 5 clases de tejido humano: corazón, estómago, hueso, piel y sistema nervioso. Los estudiantes en parejas, llenan una tabla con las descripciones de las observaciones de cada tejido y al final comparan los cuatro primeros con el nervioso.

En el caso del corazón, el estómago y la piel se encontraron puntos comunes en sus descripciones como: las células tienen núcleo, tienen formas definidas, no son del mismo tamaño. Para el tejido óseo hacen referencia a la claridad con la que se diferencian las estructuras, adicionalmente a su organización e individualidad. *“cada una tiene solo un núcleo”, “las células no son del mismo tamaño y hay pequeños espacios entre ellas”.*

Al describir el tejido nervioso hacen referencia a la forma de las células en cuanto a que es diferente de los tejidos anteriores, a las prolongaciones citoplasmáticas (axón y dendritas), también, mencionan que se ve como una red y más complejo una inferencia seguramente relacionada con la falta de claridad en la imagen pues en este tipo de tejido es difícil diferenciar donde empiezan y donde terminan las células: *“las células no tienen forma redondeada y tienen unas prolongaciones que salen del citoplasma”.* Al hacer la comparación la mayoría de los grupos percibieron al tejido nervioso menos ordenado y con formas diferentes a los otros cuatro. En su descripción ese orden o claridad se refiere a la disposición aparentemente ordenada de las células que forman hileras o donde es posible ver hasta donde empiezan y terminan porque los

espacios intersticiales son perceptibles, lo que no ocurre en el tejido nervioso: *“el tejido nervioso es mucho más complejo que los otros”, “en otros tejidos se puede diferenciar cada célula y por capas mientras que las células nerviosas son interconectadas y no se pueden diferenciar”*.

Los estudiantes al finalizar la actividad la socializan con el grupo, encontrando en sus observaciones los elementos comunes descritos en el párrafo anterior. Cuando la docente les pregunta si consideran que las células nerviosas están unidas como si fueran las piezas de un cable ellos afirman que sí, ningún estudiante se opone a esta consideración. Al preguntarles entonces sobre cómo funcionaría el asunto de la rana, los estudiantes mencionan que pasa la electricidad a través de las células como si fuera una red de cables interconectados pero que necesitan de sales o de partes de las sales para funcionar, otros afirman que cada nervio es como un cable que tiene células y requieren de las sales para conducir la electricidad, es decir, ya tienen en cuenta sustancias químicas para la conducción pero siguen pensando en el nervio como un continuo de células reticularizadas lo cual resulta lógico si tenemos en cuenta que al observar los tejidos nerviosos no es fácil diferenciar las células como unidades pero que ello es determinante para su funcionamiento.

Es necesario llevarlos un paso más allá para que logren hacer sus explicaciones con más elementos conceptuales y separarlos del reticularismo, hacerles evidente la estimulación para desencadenar el impulso por lo cual se deben retomar las primeras actividades y que logren explicar qué le ocurre a la rana que observaron en el video y la relación de ello con el funcionamiento de su sistema nervioso.

5.3 FASE III El impulso nervioso como problema de conocimiento (Ver tabla 4)

Complejizar el mundo implica verlo como un todo no siempre comprensible en sus dimensiones. El objetivo planteado al iniciar esta profundización se ve realizado en la posibilidad de explicar el impulso nervioso sin fragmentaciones de lo químico, lo biológico y lo físico. Como el resultado de un proceso cargado de controversias, experimentaciones disertaciones que de la mano con el tiempo no de años sino de siglos permitió dar cuenta de un fenómeno tan complejo. Esta última fase invita a los estudiantes a elaborar explicaciones desde estas perspectivas, las que nos permiten entender a los seres vivos como un conjunto no tan explicable, no tan predecible, no tan preciso, más bien lleno de relaciones complejas e inacabadas.

Actividad 8. ¿Los nervios y su naturaleza, un camino fácil?

En esta guía la herramienta del video es relevante porque va a permitir un acercamiento a dos de los trabajos experimentales desarrollados en la construcción del impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología, además se brindan elementos audiovisuales haciendo uso de la tecnología teniendo en cuenta el ambiente actual donde las redes informativas y los canales de videos son una herramienta consultada de forma permanente por los estudiantes no siempre con fines educativos por lo que de esta forma se puede garantizar mayor interés.

Tabla 4. Resumen de actividades fase III

ESTRATEGIA III	Propósitos	Actividades	Descripción
<p><i>El impulso nervioso como problema de conocimiento</i></p>	<p>Poner en evidencia la importancia del trabajo de Ramón y Cajal en cuanto a la unidad de la neurona y su conceptualización en contraste con las posiciones reticularistas.</p>	<p>Los nervios y su naturaleza. ¿Un camino fácil?</p>	<p>A través del desarrollo de preguntas orientadoras y de la presentación de los videos Galvani y el galvanismo: https://www.youtube.com/watch?v=MRCUBRZNN2I Y Santiago Ramón y Cajal. Arte y Ciencia. https://www.youtube.com/watch?v=D4NI9MiggUY Los estudiantes describen las características del trabajo de Galvani y sus aportes en cuanto a la naturaleza eléctrica de la transmisión nerviosa y del trabajo de Ramón y Cajal, sus aportes y conclusiones frente a la estructura de la neurona y su relación con la naturaleza de funcionamiento.</p>
	<p>Facilitar el reconocimiento de las características de la comunicación entre las neuronas y las actividades experimentales que permitieron describir el impulso nervioso desde el punto de vista físico, biológico y químico como un todo.</p> <p>Analizar las explicaciones, descripciones e identificación de observaciones en los estudiantes.</p>	<p>Avances importantes</p>	<p>Los estudiantes observaran tres videos y desarrollaran una serie de actividades de observación, descripción y explicación en torno a las temáticas expuestas en cada uno y que son aportantes al concepto de impulso nervioso: el primero sobre las redes neuronales: https://www.youtube.com/watch?v=5DY4VuNLfq8, el segundo sobre los estímulo, las condiciones en las que el cerebro responde a ellos y la construcción de la realidad: https://www.youtube.com/watch?v=DsN_bS4Ak4U</p>

			El tercero sobre el axón gigante del calamar, donde se explica y se muestra la experimentación llevada a cabo para detectar el axón gigante y posteriormente caracterizar la naturaleza química, biológica y física del impulso nervioso: https://www.youtube.com/watch?v=YDbNXMCBmqQ
	Analizar las explicaciones llevadas a cabo por los estudiantes y su capacidad para converger los aspectos físicos, químicos y biológicos.	Construyamos nuestra explicación	Los estudiantes elaboran uno o dos párrafos para explicar cómo se lleva a cabo el impulso nervioso, cómo se desencadena y se transmite a lo largo de las estructuras neuronales y cuál es su importancia.
	Identificar la capacidad de los estudiantes para reconocer las condiciones y naturaleza del impulso nervioso. Analizar sus argumentos y el manejo conceptual que llevan a cabo para argumentar sus ideas.	Solucionemos el problema	Los estudiantes recibirán un caso con dos alternativas de solución para que identifiquen la más acertada y argumenten claramente los motivos por los cuales la eligieron. Reforzaran los conceptos con los cuales construyeron el párrafo anterior.

Los estudiantes observan dos fragmentos de los documentales sobre los trabajos de Galvani y Ramón y Cajal, en parejas desarrollan unas preguntas que orientan el análisis hacia determinar los aportes e importancia y finalmente se lleva a cabo una socialización con el grupo en plenaria para destacar los aspectos en común y relevantes que van a aportar en sus explicaciones a propósito de lo ocurrido con la rana y con el propio funcionamiento de la neurona para recibir los estímulos y transmitir esta información generando respuestas.

El primer video es un fragmento de un documental de History Chanel acerca de los trabajos de Galvani. Los estudiantes desarrollaron tres preguntas que se formularon para focalizar su atención. La primera requería explicar cómo se había llevado a cabo el experimento de Galvani. La segunda pregunta se trataba de identificar el aporte de Galvani al conocimiento de los nervios y su funcionamiento. La tercera pregunta los cuestionaba sobre el conocimiento que tenía Galvani acerca de la naturaleza de las células nerviosas.

Luego de este trabajo se llevó a cabo la socialización, en ella los estudiantes destacaron el descubrimiento de Galvani en torno a la electricidad y su conducción en los nervios que de alguna forma les daba la posibilidad de mantener su idea del nervio como un cable de células continuo aunque con requerimiento de sustancias para su función. Destacaron también los trabajos posteriores que con el tiempo resultaron poco productivos manteniéndose en la idea de la electricidad animal dada por Galvani. Finalmente reconocieron que el momento histórico de Galvani no le permitía tener una visión microscópica del evento y que centró su interés en aspectos puramente físicos más no biológicos y que con este desconocimiento era probable cometer errores en las explicaciones. Este último aspecto es relevante porque permite evidenciar la complejidad de los seres vivos que, a pesar de tener comportamientos o funcionamientos relacionados con aspectos físicos o químicos, éstos no son suficientes para dar cuenta de lo que ocurre en ellos como unidad como también reconocer que para dar cuenta de la función la morfología es importante así que se dio paso al siguiente video.

El segundo video es un documental de Ramón y Cajal en una exposición que se llevó a cabo acerca de sus trabajos y la relación de éstos incluso con el arte. Es un video llamativo porque no sólo da cuenta del gran aporte que hizo al concepto neurona y su función sino de la dedicación y

precisión en su trabajo, muestra imágenes de los instrumentos utilizados y de sus gráficas precisas, detalladas como obras de arte científicas dando cuenta incluso del nacimiento de los dibujos con Vesalio que facilitaron el conocimiento biológico de las estructuras especialmente en humanos era un tabú. Al igual que con el video anterior los estudiantes respondían en parejas dos preguntas que posteriormente se socializaron. La primera pregunta requería precisar qué tipo de trabajo había llevado a cabo Ramón y Cajal. En la segunda pregunta se les indaga sobre los aportes de Ramón y Cajal al conocimiento de los nervios y las neuronas y se les solicita escribir dos conclusiones de su trabajo. En esta parte los grupos logran reconocer el que sin duda es uno de los mayores logros en el conocimiento de la estructura nerviosa y es el de neurona como unidad, es decir, cuando mencionan que se aparta de la visión de estructuras continuas por la de contiguas es captado por los estudiantes y llama en ellos la atención porque en primera instancia no lo comprenden del todo así que lo escriben en su guía pero apenas se da el espacio de socialización lo preguntan para cerciorarse de haber entendido. La mayoría de los grupos logra diferenciar continuo de contiguo y lo analogan a las neuronas.

El espacio de socialización resulta muy enriquecedor porque se destacan no sólo aspectos biológicos en su aporte a la morfología y a la construcción del concepto neurona sino al del trabajo científico como tal, a la perseverancia, a la defensa de las ideas, a la búsqueda de perfeccionar las técnicas e incluso a la ventaja que representó para su teoría el estar apartado de las escuelas de la época en las cuales el peso del reticularismo era muy fuerte. Los estudiantes mencionaron la simpleza de sus instrumentos y la complejidad de sus observaciones cuestionando incluso su trabajo en el laboratorio. En cuanto a lo que representó Ramón y Cajal para el estudio de los nervios y las neuronas los estudiantes destacaron que los nervios no eran el cable de neuronas que ellos pensaban y empezaron a cuestionar como era posible que sin tocarse las neuronas pudieran pasar la electricidad de una a otra. Esto que iba a explicarse desde la

sinapsis aunque no era del interés puntual de este trabajo si era importante por dos razones, la primera porque los apartaba de la visión de nervio como cable continuo que sufría descargas o transmisiones de electricidad mediadas por una sustancia química que podían ser sales o sus componentes y segundo porque podía explicar la necesidad de un estímulo para activar el mecanismo que permite la generación del impulso nervioso y su conducción a través del axón de la neurona.

Ahora con más dudas sobre la fisiología, pero con más elementos para su explicación era el momento para darles herramientas conceptuales que les permitieran comprender y explicar el impulso nervioso en todas sus dimensiones.

Inicialmente se les solicitó consultar sobre las características de la neurona y los mecanismos de transporte que llevan a cabo las células ya que los estudiantes habían evidenciado en sus escritos y su socialización desconocimiento sobre las características del sistema nervioso, de la neurona como tal y del funcionamiento de la membrana celular en procesos como la difusión y el transporte activo. Luego en una plenaria se socializaron estos aspectos y se brindaron elementos básicos que les ayudara posteriormente a comprender los intercambios de iones en la membrana lo que además requirió una revisión a mayor profundidad del transporte activo y el paso de sustancias con este mecanismo.

Actividad 9. Avances importantes

Antes de abordar el trabajo propuesto en esta guía la docente retroalimenta los últimos elementos obtenidos a partir de lo estudiado sobre Ramón y Cajal haciendo énfasis en el tiempo histórico

transcurrido tratando de explicar el asunto de los nervios, las neuronas y la relación aparente con la electricidad.

Esta guía hace también uso de elementos audiovisuales que evidencian trabajos experimentales e investigaciones que no se pueden reproducir en el laboratorio y que son fundamentales para la construcción del concepto de impulso nervioso esto con el fin de evitar hacer una clase magistral que los aparte de la dinámica de observaciones, inferencias, relaciones, conclusiones y explicaciones que se han llevado a cabo a medida que los estudiantes han venido construyendo el concepto. La guía tiene tres momentos importantes cada uno de ellos relacionado con un video. Es importante aclarar que en esta guía cada momento fue retroalimentado antes de dar inicio al siguiente.

- A. Redes neuronales: el primer video habla acerca de las redes formadas por las neuronas y que explican la complejidad del sistema como también de su observación y estudio. Era importante retomar este punto porque se refuerza la idea de unidad a pesar de las redes formadas por miles de neuronas, pero además porque deja claridad en que una sola de ellas no podría dar cuenta de todo aquello que a diario hacemos. Otra razón para la elección de este video es la explicación que hacen de la comunicación entre las células en esas redes, lo cual constituye un elemento necesario en este trabajo porque va a darles las herramientas teóricas para explicar cómo empieza a funcionar el impulso nervioso y qué ocurre al interior de la célula para que ello pase. En esta parte se formularon cuatro puntos en los cuales los estudiantes organizados en parejas debían explicar la importancia de las redes y los mecanismos de comunicación entre ellas, para posteriormente socializar sus explicaciones.

En el primer punto deben explicar por qué se consideran necesarias las redes neuronales, en el segundo punto deben escribir donde y como se comunican las neuronas, esto reafirmará el espacio entre ellas y la noción de contigüidad, así como la de estímulo. Los grupos hacen énfasis en el espacio sináptico y la presencia de una sustancia química que genera cambios en las neuronas subyacentes. La tercera es una explicación de lo que ocurre en las neuronas cuando llegan las señales químicas o los estímulos, este quizás es el punto crucial en esta primera parte porque les va a permitir evidenciar el papel de las sustancias en la generación y propagación del impulso. Finalmente, en el cuarto punto se les solicita explicar por qué se habla de la complejidad en el cerebro con el fin de que logren encontrar relaciones entre el funcionamiento de las estructuras nerviosas y la comunicación entre las neuronas. Aquí los estudiantes reconocieron la comunicación que permiten las redes para que el cerebro pueda funcionar: *“el cerebro forma redes y eso hace que las neuronas se comuniquen mejor”*

- B. El cerebro construye la realidad: este segundo video pone en evidencia la complejidad cerebral y permite identificar las características y el papel del estímulo en la generación de respuestas. A través de él se va a retomar la actividad de estímulos y respuestas realizada al inicio de la investigación para retroalimentar los avances hechos hasta aquí pero también para reforzar que el estímulo implica cambios, que es necesario para la generación del impulso nervioso y que su sistema nervioso responde a ellos. Para esta parte se propusieron cuatro puntos. En el primero los estudiantes deben escribir qué se requiere para que su cerebro fije su atención en el entorno, todos los grupos coincidieron en que debía existir un cambio o una novedad. Para verificar que hayan comprendido bien la necesidad de la novedad o el cambio para estimular al sistema nervioso, en el segundo

punto se les solicita explicar cuáles son los efectos de la novedad. Lo escrito por los estudiantes hace referencia a las nociones de adaptabilidad y estímulo implicadas en el impulso nervioso y que ocasionaban problemas a los investigadores porque la corriente eléctrica transmitida por el axón no era constante sino un todo o nada. Esto va a permitir que más adelante exista otro elemento con el que los estudiantes puedan reconocer con mayor claridad que el impulso no se desencadena como la electricidad a través de un cable. Otra noción que ayuda a esto es identificar que no todo es un estímulo ni logra obtener respuestas del sistema nervioso por lo cual en el tercer punto se les pide escribir las condiciones que debe tener un estímulo para generar una respuesta. Finalmente se les solicitó explicar por qué la actividad de la mímica, el just dance, las cosquillas y la pupila de las primeras sesiones lograron estimularlos y generar una respuesta, en este punto los estudiantes utilizaron la noción de estímulo, respuesta y novedad, asumieron que estas actividades habían implicado acciones lo suficientemente novedosas para generar una respuesta e identificaron que estas respuestas podían ser voluntarias e involuntarias: *“porque generan una respuesta involuntaria”, “porque hay un cambio que nos genera respuestas”*.

- C. El tercer video se titula el axón del calamar gigante, es un video enriquecedor que permite observar cómo se llevaron a cabo los experimentos para identificar el axón gigante del calamar y cómo este hallazgo aportó elementos para que los científicos estudiaran la naturaleza de la neurona y por tanto el mecanismo de transmisión del impulso nervioso con mayor precisión. Para los niños al observarlo fue como haber encontrado la pieza que faltaba para armar la explicación de lo que habían iniciado semanas atrás pero además permitió acercarse a la experimentación a través de las tecnologías actuales a lo cual no se

hubiera tenido acceso de otra forma, ya que reproducir este tipo de experimentaciones en aula es muy complejo por la calidad de materiales que se requieren, el material biológico en fresco y los equipos que no están a nuestro alcance. Para el análisis del video se plantearon cinco puntos. En el primero de ellos los estudiantes explicaron en qué consistió el trabajo de Young con el calamar haciendo referencia a la estructura alargada y grande que inicialmente confundió con un vaso sanguíneo pero que al observarla hueca y al estimularla generó una contracción en el manto, esta contracción los estudiantes la identificaron como una característica de lo que se genera al estimular un nervio, lograron relacionarlo con lo estudiado anteriormente y antes de que lo explicaran en el video afirmaron en voz alta “es un nervio”, sin embargo luego de observar el aislamiento que hizo Young y la observación microscópica, los estudiantes en sus respuestas escritas explicaron que había sido aislada la neurona y descubierto el axón por ser una estructura alargada y sin sangre que respondió a los electrodos, pero que además debía estar completa para causar la contracción. Posteriormente los estudiantes en el segundo punto explicaron por qué había sido importante el trabajo de Young para otros científicos. Los estudiantes identificaron que la experimentación nuevamente cobraba relevancia y sobre todo hacer una observación muy detallada. Con relación a lo anterior y con el fin de dar relevancia al contenido intra y extracelular el siguiente punto era escribir qué habían encontrado los científicos durante sus investigaciones dentro y fuera de la célula, lo que permitiría dar mayor sentido al transporte de membrana. En sus escritos los estudiantes mencionaron que el contenido de iones de sodio era mayor en el exterior de la neurona y los iones potasio más concentrados en el interior y en su socialización comentaron sobre la forma en que habían extraído el líquido y la posibilidad de ello que les había brindado el tamaño del axón.

Posteriormente se les solicitó que explicaran cómo se había logrado estudiar el comportamiento del axón y en este punto fueron muy descriptivos en cuanto a los electrodos, el tubo de vidrio, el hilo, la medición del voltaje, e incluso las limitaciones de los instrumentos de finales de los treinta frente a la velocidad del impulso y las posibilidades de medición que obtuvieron del osciloscopio de rayos catódicos. Los estudiantes comentaron su asombro en especial cuando habían visto que amarraban el tubo con el hilo, también hicieron referencia a la importancia de la tecnología para la ciencia ya que sólo hasta la invención del osciloscopio se habían logrado resultados precisos. Otro aspecto que mencionaron es que el instrumento había sido inventado para la guerra, pero se había usado para algo bueno. Finalmente, se les cuestionó qué habían logrado concluir los científicos de los estudios realizados con el osciloscopio: *“que se necesita sodio y potasio para que ocurra el proceso, esto dura mili segundos, no funciona como la corriente eléctrica normal, esta aumenta y de inmediato disminuye y se dieron cuenta que va siempre en la misma dirección”*. En general lograron identificar aspectos importantes de la experimentación, pero sobre todo de cómo se había logrado a través del tiempo llegar a la explicación de lo que ocurría con las neuronas y por tanto con los nervios.

Los estudiantes mostraron avances en su capacidad de observación e identificación, así como en sus posibilidades de explicar con relación a las primeras experiencias. Fueron más atentos para no perder detalles importantes y en la socialización participaron activamente.

Actividad 10. Construyamos nuestra explicación

Una parte fundamental de abordar los conceptos como problemas de conocimiento es poder construir explicaciones acerca de ellos después de haber hecho toda una serie de acercamientos teóricos y/o experimentales. El paso a paso trabajado con los estudiantes desemboca en este punto de explicaciones y construcciones personales de las cuales se espera el protagonismo de la neurona, la necesidad de un estímulo para generar su transmisión y su respuesta, la intervención de sustancias químicas en el proceso y la noción de una estructura contigua que los aleje de una noción de electricidad que corre a través de un cable. Una conjunción de lo químico, lo físico y lo biológico en el todo del proceso sin la necesidad de explicitarlo separadamente.

La guía les propone a los estudiantes elaborar uno o dos párrafos dónde expliquen cómo se lleva a cabo el impulso nervioso y que sean específicos en las estructuras, pero sobre todo en los procesos, es decir en el por qué. Esta construcción se llevó a cabo en las parejas de trabajo que se consolidaron durante las experiencias anteriores.

Todos los estudiantes afirmaron que el impulso se genera tras una novedad, un cambio, un estímulo: *“primero debe ocurrir un cambio o una novedad y esta se convierte en un estímulo”*, *“las neuronas responden a un estímulo determinado”* Posteriormente hacen referencia a lo que ocurre en la neurona luego de la llegada de ese estímulo: *“ocurre en las neuronas una rápida comunicación abriendo unos canales de membrana celular para así intercambiar sodio y potasio”*. Seguido a ello era importante observar si relacionaban el intercambio de iones con la generación del impulso eléctrico en sus escritos. Efectivamente los grupos mencionan que el intercambio de iones genera un impulso de tipo eléctrico y algunos alcanzan a mencionar el

intercambio de cargas que lo permite: *“ocurre un cambio de sodio y potasio generando un impulso eléctrico. Los iones son importantes ya que tienen cargas eléctricas”*. Los estudiantes también explicaron que el impulso viaja a lo largo del axón en una sola dirección hasta el terminal: *“la información viaja desde el soma hasta el terminal del axón en una sola dirección”*, algunos mencionan el proceso sináptico y la comunicación que se da de lo eléctrico a lo químico: *“las neuronas pueden comunicarse unas con otras, por medio de sustancias químicas y energía eléctrica”*. En esta forma de explicar confluyen lo físico, lo químico y lo biológico; entender que no sólo se trata de electricidad que corre a través de un cable sino de un potencial producto del paso de iones cargados pero que además requiere de sustancias químicas para llevar esta señal a otras neuronas a través de redes o nervios da una visión de lo contiguo de la estructura y de su naturaleza de acción.

Posteriormente se llevó a cabo la socialización de los escritos destacando su actitud de escucha y respeto además de sus deseos de participar. De forma opuesta a las primeras actividades, esta vez los estudiantes querían pasar antes que sus compañeros, esta actitud era una evidencia de la seguridad frente a las explicaciones que habían construido pero también de la seguridad que en cada actividad habían conseguido en los procesos de socialización.

Actividad 11. Solucionemos el problema

La última parte de este proceso es una actividad que busca reafirmar las explicaciones llevadas a cabo por los grupos de trabajo, para ello se propone un caso en el que dos compañeros de estudio desean explicar cómo es posible responder a los estímulos como lo hizo la rana de Galvani o como a diario su cuerpo responde a la luz, el sonido, etc. Junto con el caso se plantean las

explicaciones de los dos compañeros hipotéticos que son opuestas. Los estudiantes deben elegir la explicación más acertada y explicar su elección. Al revisar los escritos, la totalidad de los estudiantes eligen a Juan y basan sus explicaciones en argumentos como los siguientes: *“primero que todo recordemos que el estímulo es todo cambio de condiciones. Las neuronas no están pegadas y el cable de cobre tiene una corriente ininterrumpida. En las neuronas el axón tiene canales de proteína en donde el sodio y el potasio se intercambian y forman corriente eléctrica mientras que en el cable sólo es cobre y corriente. Cada neurona puede conectarse con otras y haciendo redes lo usan como comunicación en la cual se producen sustancias químicas que ayudan a estimular otras neuronas. De esta forma procesan la información y crean pensamientos nuevos y eso nos permite progresar en todo lo que hacemos. Finalmente nos dice que no se trata sólo de una corriente eléctrica. Podemos concluir que no podemos comparar un cable con nuestras neuronas porque es muy diferente”*.

En esta situación los estudiantes logran identificar los elementos que hacen de la explicación de Juan la más acertada. Reconocen el papel de los iones, del axón, la membrana y del estímulo para desencadenar el impulso. Identifican la importancia de las sustancias químicas para la comunicación luego del impulso, lo que refuerza la visión de un proceso que va más allá de lo que podría ocurrir cuando se tiene un cable por el cual se conduce la corriente eléctrica. Superaron sus explicaciones iniciales y en su lenguaje es evidente una conceptualización distinta. No hacen distinciones en la naturaleza química, física o biológica del proceso, sino que valiéndose de ellas como un conjunto explican lo que ocurre de manera indiferenciada. Defienden sus ideas en la socialización porque están seguros de ellas ya que fueron construidas de manera consciente no memorizada y recuerdan fácilmente las experiencias anteriores y las utilizan para reforzar sus explicaciones.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Uno de los aspectos más importantes cuando se finaliza un trabajo de profundización como el que se ha llevado a cabo es la reflexión en cuanto a los aprendizajes y la trascendencia del mismo. En particular, significó reflexionar en el quehacer en el aula, abrir nuevos espacios y formas de acercarse al conocimiento, abandonar lo plano del discurso de un fenómeno descubierto para acercarse a un desarrollo, una construcción, producto de una dinámica histórica de producción científica condicionada por los contextos socioculturales que en cada momento definieron un tipo de preguntas, unas explicaciones posibles, el uso de unas técnicas definidas para el abordaje y medición de ciertos fenómenos. Implicó entender ese proceso dentro de unos contextos determinados bajo la mirada de una Ciencia cambiante que no puede ser ajena a la labor en la enseñanza de las Ciencias.

La intención de esta propuesta no es llevar a cabo un análisis categórico del discurso de los estudiantes, ni es tampoco un ejercicio de sistematización de la producción de los niños o de sus elaboraciones. Se trata más bien de un ejercicio de producción para el maestro donde a través de la emergencia de los elementos que constituyen al impulso nervioso como un problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza se logren llevar cabo una serie de dinámicas en el aula que resulten enriquecedoras y permitan estudiar a los seres vivos en su complejidad, lo que a su vez constituye una herramienta importante del conocimiento científico. Tal como lo expone BACHERLARD, citado por JEAN: *“El conocimiento científico permite destruir lenta y minuciosamente la máscara de la realidad para ir a buscar detrás de ella cómo se hacen complejos los fenómenos”* (JEAN, 2000).

Para que esa emergencia se pudiera llevar a cabo y hacer evidentes los elementos que constituyen al impulso nervioso como un problema de conocimiento fue necesario identificar una serie de sucesos y manifestaciones de los organismos que hacen necesario enrutar la búsqueda hacia explicaciones que paulatinamente van construyendo un concepto como lo es el impulso nervioso. Hacer ejercicios reflexivos y de retroalimentación que requieran de una conciencia vigilante que responda a la dinámica de la metodología planteada, es decir, que permita reorientar las acciones a medida que se avanza en el proceso.

Se inicia un proceso de búsqueda y profundización que cuando llega a cierto grado de decantación permite el diseño de actividades para el aula que funcionan como ejercicios para enriquecer las explicaciones elaboradas, poner en juego los hallazgos y mostrar las posibilidades de esas reflexiones sobre la constitución del conocimiento biológico.

Lo anterior planteó nuevas exigencias con cada hallazgo, en otras palabras, el maestro aquí es dinámico, se pregunta, se cuestiona, reflexiona, reorienta y evalúa la pertinencia de lo que hace lo cual se corresponde a la propuesta. En últimas, un problema de conocimiento, sólo se puede pensar desde la idea de construcción continua de preguntas, acciones, argumentos, diseños experimentales entre otros. (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN).

El valor de este trabajo también se refleja en la elaboración de situaciones de estudio que recuperan la experiencia cotidiana de los estudiantes, potencian su capacidad de asombro, así como su habilidad para diseñar artefactos, elaborar explicaciones y movilizar su interés por el trabajo en la clase de ciencias. Aquí lo experimental, las analogías, el uso de las herramientas ofimáticas van a permitir aproximarlos y contextualizarlos superando lo puramente simbólico que se traduce al plano de lo informativo y no de lo comprensible.

A través del análisis del proceso de reconstrucción teórica y la propuesta de aula, fue posible determinar cuatro elementos importantes en la constitución del impulso nervioso como problema de conocimiento para la biología y para su enseñanza: La importancia de cuestionar la experiencia, la artificialización de los fenómenos naturales, la importancia de aprender con el otro, el alcance de las estrategias.

La importancia de cuestionar la experiencia:

Una de las características más notables que se evidenció en la reconstrucción teórica para dar paso al estudio del impulso nervioso fue empezar a cuestionarse aquello que podía haberse pensado como obvio. Era hacer uso de la curiosidad e ir más allá de ella.

Preguntarse y convertir lo que ocurre en un fenómeno de estudio es una constante en la historia de la ciencia. En este caso, los primeros cuestionamientos surgieron del interés personal por el impulso nervioso y su enseñanza. Sin embargo, conforme se avanzó en el proceso de reconstrucción histórica e indagación los saberes que se creían claros también se cuestionaron, aparecieron elementos que no se habían percibido y fue necesario generar más preguntas y relaciones de las que inicialmente se pensaron, lo cual propició un fortalecimiento de dichos saberes y el reconocimiento acerca de la importancia de preguntarse, de ir más allá de lo que se cree como cierto. Pero es también una forma de problematizar a los estudiantes, sobrepasar el nivel de verdad que suele darse en el aula de clases y que la conviertan en un lugar pasivo donde nada pasa excepto información, donde no hay de qué preocuparse, donde no se debe pensar lo que ya está hecho. “En realidad toda nuestra cultura nos impide plantearnos preguntas, pues estas ya tienen respuesta. Por ejemplo, los periodistas, son curiosos por nosotros, se preguntan por nosotros, debaten por nosotros...piensan por nosotros. ¿Cómo no tender en este caso, hacia una cierta pasividad?”. (GIORDAN & DE VECCHI, Los orígenes del saber, 1995)

Quiere decir entonces, que es importante construir el fenómeno, el problema del impulso, de lo contrario pasará desapercibido para los estudiantes, tal como durante mucho tiempo fue desapercibido por la Ciencia o se limitó a explicaciones ya dadas. Durante las estrategias trabajadas, cuestionar desde la experiencia básica permitió hacer evidente los elementos de explicación de los niños, las relaciones preliminares y su lenguaje, lo que en principio brindó pautas de la ruta a seguir. Estos cuestionamientos sin embargo no fueron alejados del contexto sino más bien familiarizados, de tal forma que a los estudiantes se les obligara a ver lo que siempre ven, pero de manera diferente. *¿Por qué puedes moverte e imitar lo que ves? porque al ver los videos el cuerpo intenta imitar los gestos y los movimientos*”, *“observando los movimientos y coordinando nuestros pasos para que se parecieran a los del video”*, *“por el sistema nervioso que hay en mi cuerpo y que debido a ello puedo mover todas las partes de mi cuerpo”*, *“el cerebro manda las órdenes a mi cuerpo y como yo puedo controlar mi cerebro me puedo controlar como yo quiera”*.

Las últimas respuestas aparentemente más elaboradas son las más cuestionables ya que la ruta más sencilla para el estudiante puede ser responsabilizar al más popular: el cerebro. Pero para el maestro fue la excusa perfecta para generar más situaciones y con ello otras preguntas *¿Y si no hay cerebro? ¿Es posible responder a los estímulos?* Esto se traduce en hacer entrar en conflicto al estudiante con esa respuesta certera que dio inicialmente. *“Uno de los motores que favorecen la conceptualización es el conflicto, ya que puede hacer que la persona dude de sus propias concepciones, llevándolo a buscar otros elementos más pertinentes”* (GIORDAN & DE VECCHI, Los orígenes del saber, 1995). El experimento de la rana además de causar gran impacto en los niños y acercarlos a la tecnología, los hizo abandonar la zona confortable que brindaba el cerebro como respuesta. Este abandono es una característica del cuestionamiento de la experiencia básica expuesto por OROZCO et al. *“se trata pues de cuestionar la morada que se construye desde los*

saberes cotidianos y desde la que se conciben seguridades primeras, para sumergirse en la incertidumbre de la pregunta” (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN). Las explicaciones frente al movimiento estimulado ahora en un organismo sin cabeza trajeron consigo, tal como lo afirma GIORDAN, más elementos como la naturaleza eléctrica del impulso y la participación de sustancias como las sales: *“Por medio de la estimulación eléctrica al haber conectado una de sus piernas y al pasar electricidad logra moverse pero cuando le echan la sal es un movimiento más rápido, lograba mover sus extremidades y se retorció” “porque cuando le encuentran el nervio en la pata le colocaron un alfiler y más abajo colocaron otro y después al pasarle corriente esta se movió, luego cuando le echaron la sal se empezó a mover otra vez”*. Otros estudiantes dieron condiciones de fuerza a la electricidad o a la sal e incluso con relación a lo que han observado en otros organismos como las babosas, le dieron la condición de irritante. Con estos nuevos elementos surgieron cuestionamientos al maestro: ¿cómo están percibiendo la reacción de la rana los estudiantes, es decir, ¿cómo imaginan que pasa todo en el cuerpo de la rana sin vida? ¿Qué imagen tienen de los nervios con relación a la respuesta y a los músculos? ¿Cómo creen que pasa la corriente y qué creen que ocurre con la sal de manera más específica? Lo cual significó generar estrategias para que los estudiantes explicaran estas preguntas. Es decir, volverlos a cuestionar frente a lo observado de tal forma que se obliguen a pensar creativamente en otras relaciones que antes no tuvieron presentes. Obligarlos a ver el mismo fenómeno de manera diferente, lo que en la construcción del impulso nervioso también significó un paso importante como lo afirma RUDOMÍN refiriéndose al trabajo de Galvani: “su genialidad fue el haberse percatado de lo inesperado y de su posible significado. Para otros estos accidentes afortunados hubieran pasado inadvertidos” (RUDOMIN P. , 1997). Cuestionar la experiencia permitió al maestro hacerse preguntas en torno al fenómeno e indagar de manera permanente en su reconstrucción, pero a su vez evidenciar los elementos explicativos usados por los estudiantes,

reconocer su noción de estímulo, respuesta, conducción, nervio, reorientar acciones y proponer actividades de exploración, desestabilizantes y problematizadoras que facilitaron la dinámica en el aula, aumentaron el interés en los niños, y permitieron el surgimiento de más preguntas que brindaron más elementos en la construcción del impulso nervioso como problema de conocimiento.

La necesidad de artificializar el mundo natural

Una de las limitaciones en la enseñanza de la Biología es que existen procesos que por su complejidad o sus características no son fácilmente observables o apreciables para los estudiantes y, si bien dentro del desarrollo del pensamiento está la posibilidad de hacer abstracciones, acercarse al fenómeno que se estudia puede ser significativo para su comprensión. El impulso nervioso es precisamente un proceso que no puede evidenciarse con los instrumentos del laboratorio escolar ni tampoco es medible. Las condiciones que permitieron su explicación, medición y comprensión tal como se abordó en los referentes teóricos fueron el resultado de siglos de estudio, observaciones y trabajo experimental. Y es justamente este último aspecto el que en esta propuesta no se quiere dejar de lado, los elementos explicativos, las habilidades y todo lo que aporta lo experimental en el conocimiento científico es valioso y por tanto hay que resaltarlo. RUDOMIN lo resalta de forma muy clara respecto al trabajo que se derivó de la controversia entre GALVANI y VOLTA “la historia ha mostrado que la observación y la investigación experimental rigurosa y sistemática son herramientas imprescindibles para avanzar en el conocimiento del mundo que nos rodea, que permiten poner a prueba nuestras hipótesis e interpretaciones, que por muy bellas y elaboradas que sean, tienen que ser consistentes con esa realidad externa que tratamos de conocer” (RUDOMIN P. , 1997).

En este caso se hizo uso de analogías que logran recrear el asunto de la electricidad, la acción de las sales en la conducción y la conducción en sí misma. También que permitieran poner en evidencia la estructura nerviosa de lo macro a lo micro y que a través de ello se logran establecer relaciones con los procesos fisiológicos, y que se transitara por el fenómeno al finalizar su construcción sin disociar la estructura de la función y de las condiciones que se requieren para ello. Inicialmente se pensó en tomar algún modelo experimental que pudiera ser útil para el asunto de la electricidad, sin embargo todos eran distantes de la intención que se tenía, así que fue necesario retomar desde las explicaciones que los estudiantes habían llevado a cabo en cuanto al experimento observado de la rana y a partir de ello priorizar. Si no tienen claro el asunto de la electricidad y el papel de la sal, era importante construir una fenomenología que permitiera a los niños, por analogía, comparar los efectos que en una y en otra situación, propiciando explicaciones y relaciones con lo que estaba construido. Pero además si se lograba involucrar la estructura nerviosa de tal forma que se vinculara con el proceso se estarían ya estableciendo relaciones importantes. Recrear la experimentación que permitió aislar el axón gigante del calamar para luego establecer sus contenidos extra e intra celulares así como su capacidad de conducción y respuesta eléctrica por el paso de iones no era viable en el laboratorio de la institución así que frente al interés de trabajar con una estructura nerviosa se empezó a experimentar con el pollo que tradicionalmente es útil para evidenciar acción de tendones y músculos. En principio se utilizó una pierna, un pernil y una pata. Después de varios intentos fallidos se determinó que el nervio del ala era la opción más adecuada. Conseguir el movimiento de la estructura por estimulación eléctrica no fue posible, pero sí era posible medir la conducción con ayuda del multímetro, una fuente de poder y solución salina. Este trabajo experimental con los registros y las preguntas adecuadas, permitiría acercarse al impulso nervioso. La experimentación por sí misma sin proceso, sin observaciones, sin cuestionamientos, es vaga. Con

referencia a ello AYALA et al. concluyen que “el experimento es un espacio de producción de fenómenos. Un espacio de concreción y dinamización de la actividad conceptual y formal” (AYALA, MALAGÓN, & SANDOVAL, 2011). A través de estas experiencias se obtuvieron resultados valiosos que estaban en función de preguntas muy específicas. En algunos casos, podríamos pensar que manipular circuitos moviliza la explicación del impulso justo hacia el vínculo con la electricidad, pero para este caso, lo que se buscaba era establecer asociación entre el papel del medio conductor o el papel de los electrólitos como la sal que funcionan en condiciones fisiológicas normales. En este sentido, se pone una situación en condiciones de ser interrogada (se artificializa el mundo natural) y obtener respuestas frente a puntos que tiene en común con el fenómeno del impulso nervioso. A través del análisis del proceso se determinó la ausencia de un elemento importante en las explicaciones de los estudiantes, la célula y las características tisulares, así como las condiciones estructurales que facilitaban la naturaleza eléctrica del impulso. Se hacía necesario apartar la visión de nervio como cable: *“el nervio marca más que la piel del ala con o sin ringer, conduce mejor el nervio que la piel”*; *“la solución ringer es a base de sal y por esto conduce mejor cuando se le agrega al nervio”* *“el nervio es más propenso a conducir la electricidad, como el cobre en los cables”*. Esta etapa fue crucial, porque a través de la microscopia fue posible hacer visible la célula que hasta el momento parecía no hacer parte del proceso. Como si nada tuviera que ver con los nervios y el cerebro. Se puso en juego la capacidad de observación y el manejo de instrumentos. Sin embargo, en la retroalimentación de los resultados obtenidos se evidenció que los estudiantes habían registrado los tejidos como reticulados ya que los micropreparados y la resolución de los microscopios no permitían ver las neuronas como unidad. También se determinó que los conceptos básicos para la comprensión del fenómeno en torno a composición celular, funcionamiento de la membrana, mecanismos de transporte, eran muy vagos y confusos, por lo

cual se retomaron haciendo uso de las microfotografías electrónicas y las tabletas, porque aunque no era el interés central de la profundización si eran necesarios para evidenciar a la neurona como unidad y apartarla del reticularismo que estaban manifestando en las primeras observaciones de los tejidos nerviosos. Las herramientas tecnológicas como las tabletas, la red de internet, las páginas y sitios web especializados, también fueron aportantes, para observar microfotografías electrónicas y conocer a fondo el trabajo de Ramón y Cajal, de Young, de Hodgking y Huxley que no son viables para reproducirlos en el aula o analogarlos y que son trascendentales para la comprensión del impulso. Las herramientas actuales permiten recrear momentos de la historia con imágenes claras, computarizadas o tomadas en directo y son útiles para llevar al aula situaciones que no son posibles de realizar allí. Con ellas se abrieron espacios para la observación, indagación, establecimiento de relaciones y elaboración de explicaciones como estas: *“el cerebro forma redes y eso hace que las neuronas se comuniquen mejor”, “porque hay millones de neuronas que al conectarse empiezan a dar información del mundo y nos hacen crear cosas complejas. “que se necesita sodio y potasio para que ocurra el proceso, esto dura mili segundos, no funciona como la corriente eléctrica normal, esta aumenta y de inmediato disminuye y se dieron cuenta que va siempre en la misma dirección” “1. Que funciona como un todo o nada. 2. Se necesita de sodio y potasio para el proceso y se necesita de los dos para generar una señal eléctrica en milisegundos y viaja a una misma dirección”*. Queda claro que la experimentación es posible, no necesariamente para recrear los hechos históricos de manera exacta, puede haber otras actividades experimentales que permitan poner en juego elementos del proceso y aunque las herramientas no siempre estén dadas es posible explorar otras formas de acercar a los niños al fenómeno como las analogías o las herramientas tecnológicas. La experimentación es para el maestro en este caso irremplazable.

La importancia de aprender con el otro

El interés por comprender cómo el impulso nervioso se constituyó en un problema de conocimiento para la Biología planteó un ejercicio personal de cuestionarse, poner en duda ciertas ideas, ampliar las búsquedas; pero también un ejercicio en lo colectivo, en espacios de discusión que permitieron intercambiar saberes y construcciones. Estos espacios abiertos también en la propuesta de aula, fueron pensados por el maestro para estimular en principio la confrontación de ideas e intercambiar inquietudes entre los estudiantes con relación a sus observaciones y a las construcciones que se iban llevando a cabo en el paso a paso. Para el maestro es claro que la construcción de conocimiento en Ciencias ha sido el resultado de un diálogo de saberes a través del tiempo en diversos contextos y en un marco de referencia determinado, lo cual expone PERA citado por RUDOMÍN para explicar el auge de la electricidad en el siglo de las luces como un aspecto recurrente en la historia de la Ciencia que se ha regido por dos circunstancias: “Primero, a la disponibilidad de nuevos hallazgos y datos experimentales. Segundo, a la existencia de una infraestructura intelectual capaz, si no de utilizar esa información, si de proveer un marco teórico razonable para explicarla” (RUDOMIN P. , 1997).

Así, con cada pregunta de la reconstrucción teórica surgían una serie de respuestas que eran el resultado no sólo de las inquietudes intelectuales sino de las técnicas con las cuales se contaba en cada momento y de las construcciones previas a ello. También eran el resultado de una serie de diálogos, controversias, intereses, entre otros. Cuando se colocan los conceptos en un libro de texto se obvian todos estos aspectos, y pareciera que la explicación se diera de la nada como un descubrimiento espontáneo. LATOUR hace referencia a lo anterior cuando afirma que en la historia de las Ciencias se dejan de tener en cuenta aspectos de su desarrollo a lo que llama ruido y que se transita fácilmente: “de la polémica más aireada al conocimiento tácito, el paso es progresivo y continuo – por lo menos cuando todo transcurre con normalidad, lo que por

supuesto ocurre raramente” (LATOURE, 1989) Lo colectivo entonces, está presente no solo en los espacios de discusión con asesores y otros con los que se discute, sino con los autores o sus interlocutores, lo cual permite posicionarse como un sujeto de saber, participe de la comunidad académica.

A su vez, en cada fase de la propuesta de aula se abrieron los espacios de socialización entre los estudiantes, lo que trajo consigo importantes avances en la construcción de los problemas de conocimiento en el aula. Se trató de una construcción intersubjetiva, directamente relacionada con el sujeto cognoscente pero también con el carácter social y cultural de la escuela donde se aprende con el otro, con el contexto, con el diálogo. Esta condición es prevalente en la propuesta de los problemas de conocimiento expuesta por (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN): “la expresión de diversas formas de ver, escuchar, relacionar y comprender permite al estudiante desinhibirse, reconocerse como ser creativo, valorar sus propias producciones e iniciar procesos de construcción de conocimiento de manera intersubjetiva”. En este sentido la propuesta brindó lo que podríamos denominar valores agregados a la construcción del problema de conocimiento en sí mismo, como la escucha, la tolerancia, el respeto por la diferencia, la seguridad y reconocer el valor del otro para el crecimiento académico.

Cada sesión era enriquecedora porque facilitaba el diálogo de saberes. Los estudiantes aprendieron que compartían dudas o que sus explicaciones respondían a las dudas de otros, que habían pasado por alto elementos que para otros fueron visibles y que estos podían ser la ficha clave para resolver sus cuestionamientos. Inicialmente no fueron sesiones sencillas, el temor al rechazo y a equivocarse hacían limitadas las intervenciones, pero con el tiempo esto cambió radicalmente.

Este trabajo, aunque enriquecedor requiere el manejo de variables que no conviertan estos espacios en un asunto de tensión y malos comportamientos. Pautas, reglas de juego, valorar los

pequeños avances, hacer preguntas cada vez más exigentes en análisis o en establecimiento de relaciones fueron condiciones que facilitaron este espacio. Implica asumir una visión de aula diferente, como también de orden, disciplina y clase. “la enseñanza de las Ciencias se piensa como la puesta en acción de estrategias de transformación cultural que generan relaciones alternativas, con la información, con los otros, con la experiencia y con el entorno natural, en las que se actualiza el universo representacional de cada sujeto y es posible construir sentidos colectivos, diferentes formas de ser, hacer y pensar el mundo” (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN)

El impulso nervioso más que una definición, un problema que amerita ser abordado

Cuando se inició el trabajo de profundización había un interés centrado en cómo dinamizar y transformar la práctica en el aula para abordar el concepto de impulso nervioso. Sin embargo, a medida que el trabajo de reconstrucción histórica e indagación iba avanzando, se hizo evidente la constitución no sólo de un concepto sino de un problema de conocimiento para la biología y para la enseñanza de las Ciencias. Los elementos de su emergencia reafirmaban un proceso de construcción colectiva en tiempos y contextos determinados que han sido descritos en este trabajo; ya no se trataba sólo de aprender sobre “el tema” del impulso nervioso sino que a la par se constituía en una herramienta que permite abordar otros campos conceptuales y lleva a su vez a cuestionar la forma como son asumidos los contenidos curriculares donde se listan las respuestas pero no están presentes las preguntas que los hicieron necesarios, ni los contextos históricos donde devinieron como problemas susceptibles de ser abordados para ampliar las explicaciones que se tenía de ellos, para abandonar lo que suponían, para modificar las técnicas y teorías con las que se explicaban. Bajo esta mirada se propuso su emergencia en el aula para

apartarse de lo que se considera poco formativo, es decir, un maestro trasmisor de información descontextualizada que luego era repetida por los estudiantes. Luego de finalizado el proceso de intervención en el aula y tras revisar los resultados, es posible afirmar que las estrategias utilizadas permitieron a los estudiantes convertir algo que no hacía parte de sus preguntas en un objeto de estudio, cuestionarse cómo se producen los impulsos nerviosos y tener elaboraciones al respecto que no fueron definitivas, sino que aún conducen a nuevos interrogantes. Todo esto, es lo que permite afirmar que para los estudiantes el impulso nervioso también se constituyó en un problema de conocimiento, que permitió además desarrollar, potencializar o adquirir una serie de elementos importantes para el aprendizaje de las ciencias como: El planteamiento de hipótesis: en cada fase, desde el cuestionamiento de la experiencia, los estudiantes formularon posibles respuestas a lo que estaba ocurriendo, a las preguntas formuladas tanto en las guías como en los espacios de construcción colectiva. Otro elemento fueron las analogías que permitieron acercarlos a los fenómenos pero con ello indagar, inferir, relacionar y establecer comparaciones: *“la electricidad pasa desde el enchufe hasta el agua con sal y luego al otro cable y se prende el bombillo porque la sal si puede conducir la electricidad”* *“la solución ringer es a base de sal y por esto conduce mejor cuando se le agrega al nervio”* *“las células del nervio son más propensas a conducir la electricidad”*. Llevaron a cabo procesos de análisis y explicación desde las actividades iniciales, es decir fueron continuos, evidentemente los primeros respondían a lo que tenían como conceptos básicos. Cada nueva actividad brindaba nuevos elementos que alimentaron sus explicaciones y las complejizaron: *“primero debe ocurrir un cambio o una novedad y esta se convierte en un estímulo, las neuronas responden a un estímulo determinado. Cuando el estímulo pasa se abren unos canales en la membrana del axón en el cual se intercambian el sodio y el potasio generando un impulso eléctrico. Los iones son importantes ya que tienen cargas eléctricas, el potencial eléctrico se genera por el intercambio de sodio y*

potasio ya que los dos son positivos, pero su cantidad es diferente”. “La información viaja desde el soma hasta el terminal del axón en una sola dirección. Las neuronas pueden comunicarse unas con otras, por medio de sustancias químicas y energía eléctrica. Cuando a una neurona llegan señales químicas o los estímulos, se abren los canales en la membrana receptora, permitiendo el intercambio de sodio y potasio que generan un potencial eléctrico”.

Para las explicaciones también se hizo uso de gráficas y simbologías, esto se propuso porque cuando los estudiantes intentaban explicar con palabras no lo lograban y se confundían. Para identificar cómo estaban los estudiantes entendiendo los procesos se les propuso graficar y con ello poder evidenciar su noción de nervio, de tejido, de célula, de la conducción de la electricidad y del efecto de la sal (ver tabla

Tabla 5 Gráficas de los estudiantes para explicar el movimiento de la rana.

<p>Los nervios sin ser parte de los tejidos y como una estructura en forma de cable o cordón, el alfiler en contacto directo con ellos, el agua aledaña al nervio y la sal sobrepuesta.</p>	<p>Utilizaron símbolos y convenciones, la electricidad como una onda, los nervios como cordones o cables, el agua que cae sobre ellos con la sal, el alfiler que transmite esas ondas a los nervios y el movimiento de la pata. No hay concepción de nervio-tejido-célula.</p>

La comunicación de ideas es otro aspecto importante. Esta comunicación se dio de forma escrita en las guías y de forma verbal en los espacios de construcción colectiva. Sus escritos inicialmente los hacían estimulados y motivados por el docente utilizando lenguaje muy concreto y en frases cortas. Luego, cada vez más fluidos respondían a las actividades, elaboraban párrafos, argumentaban sus ideas, ejemplificaban y evidenciaban relaciones entre los hechos. Escribir en este caso requería identificar, analizar, concretar y hacer uso del lenguaje que se iba incorporando con cada actividad. En cuanto a lo verbal inicialmente les costaba mucho, tenían dificultades para exponer sus construcciones, sus explicaciones, sus inferencias. Pero al final pedían la palabra, discutían con sus compañeros, refutaban las ideas, se mostraban seguros y con mayor capacidad para relacionar los elementos adquiridos. Tenían la capacidad de decantar sus ideas y ordenarlas. Esta es la evidencia más clara del proceso de construcción de los estudiantes y la más valiosa, la que permitió reorientar la propuesta de manera permanente, para lograr la construcción del impulso nervioso como problema de conocimiento. “para esta propuesta, el otro es más que un individuo o un grupo de ellos, es aquel que se revela desde su diferencia o heterogeneidad, por medio de sus escritos, aportes en las discusiones, participación en la elaboración de informes y en el reconocimiento y respeto por la producción de sus pares” (OROZCO, VALENCIA, MENDEZ, JIMENEZ, & GARZÓN) .

7. BIBLIOGRAFÍA

- The Academy of 21st Century Learning*. (11 de Febrero de 2015). Recuperado el Marzo de 2016, de https://www.youtube.com/channel/UCCf1v2vI5hltXYhe0II_D7g
- ALBARRACÍN, A. (1983). La condición supracelular del organismo. En A. ALBARRACÍN, *La teoría celular. Historia de un paradigma*. (págs. 265-282). Madrid: Alianza Editorial.
- ALBARRACÍN, A. (1992). *La teoría celular en el siglo XIX*. Madrid, España.: Ediciones Akal S.A.
- AUDESIRK, T. (2003). *Biología. La vida en la tierra*. México: Pearson Prentice Hall.
- AYALA, M. M., MALAGÓN, J. F., & SANDOVAL, S. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 43-54.
- BAKER, J., & ALLEN, G. (1970). *Biología e Investigación científica*. México: Fondo Educativo Interamericano.
- BERNARD, C. (1965). *La idea de la medicina experimental según Claude Bernard*. Palais de Decouverte.
- CANGUILHEM, G. (2009). *Estudios de Historia y de Filosofía de las Ciencias*. Buenos Aires: Amorrortu Editores.
- CERDA, H. (2002). *Los elementos de la investigación. Como reconocerlos, diseñarlos y construirlos*. . Bogotá: Editorial el búho. LTDA.
- CHC (Dirección). (2014). *El axón gigante del calamar* [Película].
- CURTIS, H. (2004). *Biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- DE FELIPE Javier, M. H. (2010). *Paisajes Neuronales. Homenaje a Ramón y Cajal*. Madrid, España.: Consejo superior de investigaciones científicas. Gráficas /85 S.A.
- DELACROIX, V. (s.f.). *Métodos en Neurociencias. Circuitos voltage clamp*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2016, de http://www.academia.edu/5195232/M%C3%A9todos_en_Neurociencias_Circuitos_Voltage_Clamp
- Discovery (Dirección). (2013). *Funcionamiento de las redes neuronales* [Película].
- DUARTE, D. (2014). *Tesis de grado. El crecimiento como proceso biológico. Condiciones que orientan su enseñanza en educación básica primaria*. . Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- GIORDAN, A. (1988). *Conceptos de Biología Tomo I*. Madrid: Labor.
- GIORDAN, A., & DE VECCHI, G. (1995). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Editora S.L.

- GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S., & RINDI, A. (1985). *Biological effects and dosimetry of static and ELF Electromagnetic fields*. New York: Plenum Press.
- GUIDONI, M. M. (1990). *Enseñar Ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. España: Ediciones Paidós.
- GUYTON, A. (1987). *Tratado de fisiología médica*. México, D.F: Nueva Editorial Interamericana.
- HISTORY (Dirección). (2012). *Galvani y el galvanismo* [Película].
- HODGKIN, L., & HUXLEY, F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J. Physiol*, 500 - 544.
- JEAN, G. (2000). *Bachelard, la infancia y la pedagogía*. Bogotá: Fondo de cultura económica Ltda. .
- JIMÉNEZ, G., & PEDREROS, R. I. (2015). *El aula como sistema de relaciones. Módulo de pedagogía II*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- LATORRE, R., LÓPEZ-BARNEO, J., BEZANILLA, F., & LLINÁS, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Secretariado de publicaciones.
- LATOUR, B. (1989). Joliot: Punto de encuentro de la historia y de la física. En M. SERRES, *Historia de las Ciencias*. Madrid: Editorial Cátedra.
- MALAGÓN, J., AYALA, M. M., & SANDOVAL, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- OROZCO, J. (s.f.). *Tesis de grado. El encanto de la diferenciación. Aproximaciones con Faraday a la enseñanza de las Ciencias*. Bogotá, Colombia.: Universidad Pedagógica Nacional.
- OROZCO, J., VALENCIA, S., MENDEZ, O., JIMENEZ, G., & GARZÓN, J. (s.f.). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. *Red Académica. Universidad Pedagógica Nacional*.
- PUNSET, E. (Dirección). (2011). *Redes 108: El cerebro construye la realidad - neurociencia* [Película].
- RUDOMIN, P. (1997). La controversia Galvani - Volta sobre la electricidad animal. *Memorias de El Colegio Nacional*, 159-190.
- SALLEN DEL COLOMBO, E. (2000). Alessandro Volta: sobre la electricidad excitada por el simple contacto de substancias conductoras de distintas especies. *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 763-784.
- SEGURA, D. (2010). Información y conocimiento: Una diferencia enriquecedora. *Universidad Nacional de Colombia*.
- UNED (Dirección). (2012). *Santiago Ramón y Cajal. Arte y Ciencia* [Película].

VALENCIA, S., MÉNDEZ, O., & JIMÉNEZ, G. (2015). *La respiración: De soplo vital a problema de conocimiento*. . Bogotá : Universidad Pedagógica Nacional.

VALENCIA, S., MÉNDEZ, O., & JIMÉNEZ, G. (s.f.). Los saberes de la representación o de cómo imaginar la escuela. *Universidad Pedagógica Nacional*.

8. ANEXOS