

**Efecto de una Estrategia Didáctica Basada en Realidad Aumentada en el Logro
de Aprendizaje de Genética Mendeliana, la Motivación y el Esfuerzo Cognitivo de
Estudiantes de Grado Noveno**

Stefany Cuervo y Yeimi Marcela Gamboa

Maestría en Tecnologías de la Información Aplicadas a la Educación

Universidad Pedagógica Nacional

Mg. Diego M. Rivera

Universidad Pedagógica Nacional

Bogotá, D.C.

Marzo de 2021

Tabla de Contenido

Introducción	6
1. Planteamiento del Problema	8
1.1. Descripción del Problema	8
1.2. Justificación.....	9
1.3. Pregunta de Investigación	10
1.4. Objetivos	11
1.4.1. Objetivo general.....	11
1.4.2. Objetivos específicos	11
2. Estado del Arte	12
2.4. Enseñanza de la Genética.....	12
2.5. Realidad Aumentada y la Enseñanza de las Ciencias Naturales.....	14
3. Marco Teórico	19
3.4. Realidad Aumentada	19
3.1.1. Taxonomía de la Realidad Aumentada.....	20
3.1.2. Realidad Aumentada y Educación.....	21
3.2. Esfuerzo Cognitivo.....	22
3.2.1. Esfuerzo Cognitivo Intrínseco	23
3.2.2. Esfuerzo Cognitivo Extrínseco	24
3.2.3. Esfuerzo cognitivo germánico	24
4. Descripción del Desarrollo Tecnológico	26
4.1. Aplicación Móvil Basada en los Principios de la Realidad Aumentada.....	27
4.2. Cartilla Didáctica.....	29
4.3. Casos de uso.....	31
5. Metodología.....	35
5.1. Tipo y Diseño de la Investigación.....	35
5.2. Población y Muestra.....	36
5.3. Instrumentos	36
5.3.1. Cuestionario MSLQ - Motivación.	36
5.3.2. Test de Autorreporte - Esfuerzo Cognitivo.....	38
5.3.3. Logro de Aprendizaje	39
5.4. Procedimiento.....	40
5.4.1. Socialización del Proceso de Investigación	41
5.4.2. Implementación de la Estrategia de Investigación.....	42

5.4.3.	Recolección de Datos.....	43
5.5.	Variables.....	44
5.5.1.	Variable independiente	44
5.5.2.	Variable dependiente	44
5.5.3.	Covariables	45
5.6.	Hipótesis.....	45
5.6.1.	Hipótesis de Investigación	45
5.6.2.	Hipótesis Nula - H_0	45
5.6.3.	Hipótesis Alternativa - H_1	46
6.	Resultados.....	47
6.1.	Análisis Estadístico	47
6.1.1.	Tratamiento de los Datos y las Variables	47
6.1.2.	Análisis de Datos Perdidos y Datos Atípicos	48
6.2.	Estadísticos Descriptivos de la Muestra.....	49
6.2.1.	Estadísticos Descriptivos Cuestionario de Motivación PreMSLQ y PostMSLQ. 50	
6.2.2.	Estadísticos Descriptivos Logro Inicial y Logro Final.	50
6.2.3.	Estadísticos Descriptivos Esfuerzo Cognitivo.	51
6.3.	Pruebas para el Cumplimiento de los Supuestos del Análisis Multivariado.....	53
6.3.1.	Prueba de Normalidad.....	53
6.3.2.	Homogeneidad de Varianzas.	55
6.3.3.	Pruebas para los Supuestos de las Covariables.....	55
6.4.	Análisis Multivariante General	58
7.	Discusión y Conclusiones.....	64
7.1.	Evaluación de las covariables	64
7.2.	Logro de Aprendizaje y AR	65
7.3.	Motivación y AR.....	65
7.4.	Esfuerzo Cognitivo y AR	66
7.5.	Aplicación móvil basada en los principios de la AR	67
8.	Limitaciones y Proyecciones	69
8.1.	Limitaciones	69
8.2.	Proyecciones.....	70
9.	Referencias	72
	Anexos	80

Lista de Tablas

Tabla 1. Tamaño de los grupos de acuerdo con el diseño para el análisis de los datos.....	36
Tabla 2. Información descriptiva de la edad de los estudiantes participantes	49
Tabla 3. Frecuencias del género de los estudiantes participantes.....	49
Tabla 4 . Distribución de los estudiantes para los grupos experimentales.....	49
Tabla 5. Información descriptiva del cuestionario de motivación MSLQ.....	50
Tabla 6. Información descriptiva de las calificaciones obtenidas por los estudiantes.....	51
Tabla 7. Información descriptiva del cuestionario de Esfuerzo Cognitivo.....	52
Tabla 8. Información descriptiva del cuestionario de Esfuerzo Cognitivo para cada actividad implementada.....	52
Tabla 9. Pruebas de normalidad para las variables dependientes.	54
Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene.....	55
Tabla 11. Correlación de Pearson para las variables y covariables.	56
Tabla 12 Prueba de Box de igualdad de matrices de covarianzas.	56
Tabla 13 Análisis de homogeneidad de los planos de regresión para las covariables.	57
Tabla 14. Análisis multivariante general.	58
Tabla 15. Análisis multivariante general.	59
Tabla 16. Estimaciones para la variable Logro Final.	60
Tabla 17. Estimaciones para la variable PostMSLQ.	61
Tabla 18. Análisis multivariante general para el esfuerzo cognitivo.....	61
Tabla 19. Análisis multivariante general para el esfuerzo cognitivo segregándolo en sus tipos y momentos de implementación.	62

Lista de Figuras

Figura 1 “continuum” realidad – virtualidad ((Milgram et al., 1994)	19
Figura 2 Parejas de marcadores de personajes y marcador del cuadro de Punnett.....	27
Figura 3 a) Izquierda: modelos de los personajes 3D usados sobre los marcadores. b) Derecha, opción de modificar el genotipo de cada personaje.....	28
Figura 4 Interfaz del momento de reproducción.....	29
Figura 5 Cartilla "Expedición Mendeliana. una Aventura Génica"	30
Figura 6 Cartilla adaptada para el uso de la aplicación "GeneticAR"	30
Figura 7: Imagen modificada de "Los siete caracteres de Mendel", por Mariana Ruiz Villareal (Khan Academy).....	32
Figura 8: Representación en los cuadros de Punnett.	32
Figura 9 Actividad 3 de la cartilla “Expedición mendeliana: una aventura génica	33
Figura 10 Características de Preeka “Expedición mendeliana: una aventura génica”.....	33
Figura 11 Forma tradicional de resolución del problema.	34
Figura 12 Cruce planteado por la actividad 3 de la cartilla usando la aplicación GeneticAR.	34
Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes de las variables, se señalan los 11 datos atípicos con el respectivo número asignado del estudiante.....	48

Introducción

En ciencias naturales existen muchos conceptos abstractos lo que las hace retadoras al momento de estudiarlas y aunque la física y la química son las ciencias con mayor grado de abstracción, la biología no se queda atrás. Si bien varios componentes de la biología son muy concretos a la hora de estudiarlos, existen otros que presentan diferentes grados de abstracción, es aquí donde se encuentran los estudios a nivel celular y molecular, como es el caso de la genética que adicionalmente está relacionada con nociones de estadística, como muchas disciplinas de la biología.

La genética es una de las disciplinas de la biología más difíciles de comprender para los estudiantes en parte porque es una de las que presenta mayor dificultad (Flores Camacho et al., 2020; González et al., 2017; Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván, 2013; Ortiz Benavides & Piña López, 2018). Adicionalmente se encuentran las metodologías tradicionales de enseñanza en las cuales el estudiante no tiene un papel activo y los contenidos que se trabajan son fundamentalmente conceptuales y generalmente expuestos de manera magistral (Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván, 2013). Otro aspecto muy importante que dificulta la comprensión de la genética es que los conocimientos previos de los estudiantes no son tenidos en cuenta en el proceso de enseñanza – aprendizaje, por lo cual algunas de estas ideas previas no se modifican después de estudiar los contenidos relacionados con herencia biológica (González et al., 2017; Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván, 2013).

Por otra parte, Garrido y González (2017) quienes analizaron las propuestas didácticas en textos educativos sobre el tema de genética, encontraron que dichos textos educativos no incorporan de manera secuencial los contenidos de genética clásica y genética molecular, evitando la relación que tienen estas temáticas en la comprensión global del tema, igualmente

evidenciaron definiciones de conceptos básicos de genética muy sintetizados y que no aportan a la comprensión de estos contenidos; con respecto a la resolución de problemas genéticos, no se aclara el concepto de probabilidad, por lo cual se deben aclarar estos conceptos desde la explicación magistral del profesor.

Desde esta perspectiva, este estudio se concentra en la temática de los patrones cromosómicos de la herencia, más específicamente, en las tres leyes de Mendel, del curso de biología de grado noveno de educación básica secundaria. Así, se pretende evaluar el efecto en el logro de aprendizaje, la motivación y el esfuerzo cognitivo de una aplicación móvil basada en los principios de la realidad aumentada que permita visualizar mediante información 3D y 2D la relación entre genotipos y fenotipos; y que adicionalmente, represente en el cuadro de Punnett, no solo las proporciones del conjunto de genes y la información genética que conforman a un individuo de cualquier especie sino que también, represente las proporciones de forma visual, es decir, expresión en forma física de las características de ese mismo individuo, permitiendo evidenciar de esta forma las probabilidades de ocurrencia de un determinado cruce.

1. Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del Problema

Las ciencias naturales estudian y dan explicaciones a los fenómenos naturales, esas explicaciones nos permiten entender cada vez más nuestro entorno, desde lo más pequeño como el funcionamiento de nuestras células o la desintegración de los átomos con el paso del tiempo hasta los nuevos descubrimientos de las características de exoplanetas de nuestro sistema solar. El conocimiento científico y tecnológico avanza vertiginosamente y es la labor de las instituciones educativas, al menos en este aspecto, formar ciudadanos instruidos en las generalidades del conocimiento científico.

Siendo así, uno de los mayores retos de los profesores de ciencias es traducir el conocimiento científico a una versión que los estudiantes puedan comprender, lo que denominamos transposición didáctica. Esto se dificulta aún más cuando los conceptos son altamente abstractos debido a la naturaleza de su estudio y se explican con los recursos que dispone el docente. Por ejemplo, se explica la célula con imágenes bidimensionales que al compararlas con las imágenes reales no tienen mucho parecido; o lo mismo pasa con el estudio del átomo, “nadie ha visto un átomo”, sin embargo, lo estudiamos basados en modelos, la mayoría de las veces desactualizados. En ciencias naturales hay un sinnúmero de conceptos abstractos y los avances didácticos no avanzan al mismo ritmo de la ciencia.

Este es el caso de la genética, los estudios sobre la herencia son tan avanzados que hoy en día, se pueden insertar genes de un organismo en otro para mejorar sus características,

podemos codificar el genoma de un organismo para desarrollar vacunas en tiempo récord con tecnologías que nunca habían sido aplicadas para hacer frente a una pandemia que cambió al mundo y todo esto en poco más de un año. No obstante, la población todavía no comprende los procesos de investigación científica que están detrás de estos desarrollos, en parte es por este motivo que hay muchas personas que no desean vacunarse.

De acuerdo con Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván (2013), la genética es una de las disciplinas de la biología que reúne mayor dificultad conceptual y por ende es uno de los temas que para los estudiantes es más difícil de comprender. Esto en parte se debe a la necesidad de establecer relación entre varios procesos biológicos que implican un grado de abstracción alto, además de aplicar conceptos de probabilidad para dar explicaciones (Caballero, 2008).

Otro aspecto investigado por Ayuso & Banet (2002), es la metodología empleada por los maestros al momento de hacer la instrucción, la cual se basa en un modelo principalmente transmisivo y en genética, se concentra en la solución de problemas cerrados de causa-efecto de solución algorítmica y única, en los cuales se aplica de forma memorística las etapas de resolución de los problemas generalmente fuera del contexto del estudiante. Esto al momento de trabajar genética clásica, dificulta la comprensión de los patrones cromosómicos de la herencia, es decir la distribución de los genes en los cromosomas y como estos pueden pasar a la descendencia por medio de la reproducción sexual. Razones por las cuales este tema resulta tan conflictivo didácticamente.

1.2. Justificación

La realidad aumentada es una tecnología emergente de rápido avance tecnológico, caracterizada por permitir la visualización de conceptos abstractos (Gopalan et al., 2017), que se ha venido aplicando al campo educativo, de allí, ha surgido el desarrollo de múltiples

aplicativos que pretenden mejorar el proceso de aprendizaje en diferentes áreas del saber (Reisoğlu et al., 2017). No obstante, se encuentran muy pocas investigaciones que apliquen esta tecnología en el proceso de enseñanza – aprendizaje del tema particular de genética. Esto hace del presente estudio una excelente oportunidad para adentrarse en otras áreas de investigación, como lo es la genética clásica.

Por otra parte, en el área de la enseñanza de las ciencias naturales, se han hecho varias investigaciones (Cai et al., 2014; Erbas & Demirer, 2019; Hung et al., 2017; Hwang et al., 2016; Ibáñez et al., 2014; Küçük et al., 2016a; Núñez et al., 2008; Thees et al., 2020), sin embargo, aún permanecen poco estudiadas las posibilidades de esta tecnología a nivel educativo, especialmente en el contexto colombiano. Por lo que es importante adelantar investigaciones que contribuyan a ampliar este campo de conocimiento en nuestro país.

A lo anterior, se suma que se han hecho investigaciones en la enseñanza de las ciencias que afirman efectos positivos en el esfuerzo cognitivo y la motivación (Hwang et al., 2016; Thees et al., 2020; Yang et al., 2021). Desde esta perspectiva se hace pertinente avanzar en investigaciones que permitan ampliar el conocimiento que se tiene sobre la relación entre el uso de aplicaciones que usen la realidad aumentada y el esfuerzo cognitivo, pues se espera tener desarrollos tecnológicos que apoyen al maestro y permitan que los estudiantes comprendan los temas sin invertir muchos recursos de su memoria de trabajo en el material o la forma como es presentada la información y que adicionalmente se encuentren motivados hacia la temática.

1.3. Pregunta de Investigación

¿Cómo afecta el uso de una estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada sobre el logro de aprendizaje de genética mendeliana, la motivación y el esfuerzo cognitivo de estudiantes de grado noveno?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Establecer la influencia de una estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada en el logro de aprendizaje de genética mendeliana, la motivación y el esfuerzo cognitivo de estudiantes de grado 9° del Colegio Calasanz Bogotá.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación entre la implementación de una estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada y el esfuerzo cognitivo de estudiantes de grado 9° del Colegio Calasanz Bogotá.
- Evaluar el efecto de la aplicación de una estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada en la motivación de estudiantes de grado 9° del Colegio Calasanz Bogotá.
- Contrastar el logro de aprendizaje de Genética Mendeliana de los estudiantes de grado 9° del Colegio Calasanz Bogotá que trabajaron con la estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada con los estudiantes que trabajaron sin la estrategia en Realidad Aumentada.

2. Estado del Arte

2.4. Enseñanza de la Genética

La enseñanza de la herencia biológica es de suma importancia para la alfabetización científica y tecnológica de los ciudadanos, ya que son muchos los contextos sociales en los que los estudios genéticos son los protagonistas (González et al., 2017; Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván, 2013): la manipulación génica para la producción de cultivos resistentes, el estudio de enfermedades de origen genético, la terapia génica y actualmente la ardua investigación y secuenciación del genoma del SARS-CoV-2, para producir vacunas a base de nuevas tecnologías genéticas.

El estudio de la genética presenta una gran complejidad para los estudiantes. Caballero (2008), muestra las ideas que tienen los estudiantes sobre conceptos básicos de genética, encontrando que los inconvenientes que más afectan a los estudiantes son: confusión a la hora de identificar la localización del material genético y su vía de transmisión, el significado de conceptos básicos de genética, la falta de conocimientos adecuados sobre la reproducción sexual, especialmente en plantas y sobre probabilidad y otras variables estadísticas. De forma similar, en el estudio realizado por González et al., (2017), en el que se evaluaron los conocimientos previos de estudiantes de grados 8 y 9 sobre el tema de genética, permitió evidenciar la falta de comprensión en las relaciones existentes entre genes y ADN, de igual forma, se les dificulta identificar el tipo de reproducción sexual en las plantas y las características estructurales y funcionales de los genes, alelos y ADN.

Los obstáculos en la comprensión y aprendizaje se deben al gran nivel de abstracción de las temáticas y a la forma de abordar la temática en la educación tradicional, por esto es mejor emplear una metodología constructivista que permita la participación del estudiante en su proceso de aprendizaje, de forma que se rompan esquemas previos y permita reconstruir el

esquema conceptual que los estudiantes ya poseen (Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván, 2013).

Una metodología diferente a la empleada en la educación tradicional es el uso de tecnologías de la información, que posibilitan la comprensión de conceptos abstractos como los trabajados por la genética. Para mejorar los resultados educativos se ha sugerido el empleo de modelos tridimensionales que le permitan a los estudiantes ubicarse espacialmente (Íñiguez Porras & Puigcerver Oliván, 2013), el uso de material educativo con diferentes actividades puede permitir al estudiante ubicar el material genético en la célula y reconocer su estructura y función (Briceño, 2014).

Múltiples investigaciones se han realizado acerca de las variaciones en la metodología de las clases de genética para incrementar el interés de los estudiantes y favorecer la comprensión de la temática como es el caso de Conde & Bernal (2017), quienes en una experiencia de aula propusieron una estrategia didáctica basada en preguntas profesor-estudiante que permitiera la comprensión de los procesos de la herencia y los procesos que implica la transmisión de la información hereditaria. Por otra parte, Mojica (2014), hace una propuesta didáctica para un ambiente virtual de aprendizaje, estructurado bajo la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas, ambos trabajos concluyen que el cambio de metodología

Existen diferentes propuestas que implementan herramientas tecnológicas con el objetivo de crear nuevas estrategias para la enseñanza de la genética. Annetta, Minogue, Holmes, y Cheng (2009) y Ortiz Benavides & Piña López (2018), quienes se orientan por el desarrollo de videojuegos con fines educativos, lograron demostrar que este tipo de aplicaciones aumenta la motivación y el “engagement” de los estudiantes, indicando que la herramienta es más efectiva en comparación con los métodos tradicionales, obteniendo un

creciente mejoramiento en las habilidades de resolución de problemas genéticos a partir del uso del videojuego, esto permitió que los estudiantes retomaran la situación problema y reflexionaran sobre el cruce genético correcto dando importancia así a la aplicación pertinente del cuadro de Punnett.

2.5. Realidad Aumentada y la Enseñanza de las Ciencias Naturales

Los estudios investigativos y el desarrollo de aplicaciones que emplean la tecnología de Realidad Aumentada, en adelante (AR) en el campo educativo han aumentado rápidamente en los últimos años. Los estudios realizados en esta área han abordado predominantemente las posibilidades y los retos que surgen de la combinación de elementos reales y virtuales en diversos escenarios de aprendizaje y educación

En ciencias existen varias aplicaciones diseñadas para abordar aquellas temáticas en las cuales el nivel de abstracción es alto. En el aprendizaje de la química, por ejemplo, la comprensión de los micro mundos es el principal objetivo, pero al mismo tiempo es un desafío (Cai, Wang, y Chiang, 2014), por lo que desde esta área se han desarrollado diferentes propuestas con el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Cai et al., (2014) y Núñez et al., (2008) desarrollaron aplicativos que incorporan la tecnología de AR para trabajar temas que trabajan las relaciones espaciales de moléculas cristalinas, y las estructuras atómicas e interacciones entre átomos al formar enlaces. En ambos estudios se concluye que la introducción de la AR para trabajar tiene efectos positivos en el aprendizaje de los temas, ya que ayuda a mejorar la comprensión de la organización espacial de las moléculas además de hacer que los estudiantes disfrutaran más de la experiencia.

Varias investigaciones han reportado efectos positivos en el aprendizaje y motivación con relación al uso de aplicaciones basadas en la tecnología de AR. Por ejemplo, Erbas, C. y Demirer, V. (2019), evaluaron los efectos del uso de una aplicación en AR de biología

celular, en el logro académico y la motivación de estudiantes de un curso de biología de grado noveno de educación secundaria en Turquía. En este estudio se comprobó que la motivación de los estudiantes aumentó y facilitó la comprensión de las temáticas, puesto que permitió la visualización de lo invisible. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las puntuaciones de rendimiento académico de los grupos. Trabajos similares demuestran que el uso de realidad aumentada para trabajar diferentes temáticas de las ciencias naturales hace que los participantes se encuentren más interesados. Tal es el caso de Ibáñez, Di Serio, Villarán, y Delgado Kloos (2014), quienes analizaron el impacto de una aplicación en AR acerca de los principios básicos del electromagnetismo, que mostró que el enfoque de realidad aumentada fue más efectivo para promover el conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos y fenómenos electromagnéticos, además, indicaron que la aplicación de realidad aumentada llevó a los participantes a alcanzar niveles de experiencia de “flow” más altos que los logrados por los usuarios que utilizaron la aplicación basada en la web. Igualmente, Salmi et al. (2017) emplearon una aplicación en realidad aumentada para ser trabajada en una exhibición de ciencias y reportaron que la experiencia fue beneficiosa para todos los estudiantes en relación con la motivación, sin embargo, fue mucho más beneficiosa para el grupo de estudiantes que habían reportado un menor rendimiento, en quienes se observó un mayor aumento del logro académico en comparación con los otros grupos.

Continuando con la relación positiva entre el uso de aplicativos en AR y el aprendizaje de las ciencias naturales, se encuentra el estudio de Akçayir et al. (2016), en que se puso a prueba el efecto de una aplicación en AR en el desarrollo de habilidades de laboratorio de estudiantes universitarios; en este caso se evaluó la capacidad de los estudiantes para plantear hipótesis, evaluar procedimientos experimentales y capacidad de realizar reflexiones sobre los resultados del experimento; durante el desarrollo de diferentes

prácticas de laboratorio del curso de física. Los autores concluyeron que la aplicación de AR mejoró significativamente el desarrollo de habilidades de laboratorio y además se observó que los grupos que trabajaron usando la aplicación de AR terminaron satisfactoriamente el laboratorio en menor tiempo que el grupo de estudiantes que no tuvo soporte de la aplicación en AR.

Lo mismo ocurre con el estudio de Hung et al. (2017), quienes concluyeron que el uso de la aplicación en AR ofrece mejores resultados que al trabajar con materiales tradicionales como lecturas e imágenes, sin embargo, los estudiantes mostraron mejores resultados al trabajar con modelos 3D en físico que con AR, aunque los beneficios educativos de trabajar con AR fueron similares a los de trabajar con materiales tradicionales, los participantes de la investigación estaban más satisfechos con el uso de la aplicación de AR.

Además, Hwang et al. (2016), evaluaron el efecto y su enfoque de un juego competitivo para apoyar las actividades de aprendizaje basadas en AR realizadas en contextos del mundo real. Realizando un estudio en un curso de ecología de primaria, de esta forma muestran que el enfoque de juego basado en AR puede mejorar no sólo las actitudes de aprendizaje de los estudiantes, sino también su rendimiento de aprendizaje en la excursión.

Por otra parte, Georgiou & Kyza (2018), evalúan si el impacto de la inmersión sobre el aprendizaje en entornos de AR basados en la localización se encuentra influenciado por la motivación del estudiante, de esta forma se evalúa la inmersión del estudiante en relación con su motivación, mostrando que entre mayor sea la motivación específica del dominio y cognitiva, mayor será la inmersión y por lo tanto la ganancia del aprendizaje conceptual, sin embargo se demuestra que el mayor aprendizaje conceptual se logra durante el “engagement”, una de las primeras etapas de la inmersión, que con la inmersión total.

Mostrando así una grande relación entre motivación y aprendizaje, mediados por la tecnología de AR.

De igual forma se han realizado varias investigaciones de los efectos que tiene la implementación de la tecnología emergente AR en aplicativos educativos sobre el esfuerzo cognitivo. Algunas de estas investigaciones realizadas en el campo de estudio de las ciencias naturales son en primer lugar, la propuesta de Küçük et al. (2016), quienes propusieron la implementación de una aplicación de “Magic book” en AR que ubica información virtual sobre páginas de un libro ya empleado por la institución, para evaluar el efecto de la aplicación en AR sobre el logro académico y el esfuerzo cognitivo, así pues como resultados obtuvieron que el uso de la aplicación afecta de forma positiva el aprendizaje y adicionalmente disminuye el esfuerzo cognitivo, particularmente el esfuerzo cognitivo extrínseco, mientras el intrínseco se mantiene igual para ambos grupos estudiados, de esta forma muestran una relación positiva entre el uso de AR y el esfuerzo cognitivo. A su vez, Thees et al. (2020), evalúan el efecto de una aplicación basada en AR que permite visualizar en tiempo real los resultados de un laboratorio de conductividad térmica, aplicando el principio de contigüidad espacial y temporal, de forma que los estudiantes tengan acceso a la observación del fenómeno sin tener que esperar los resultados arrojados por la computadora tiempo después de realizada la práctica. En esta intervención se logró evidenciar que, aunque la aplicación basada en AR no afectó el logro de aprendizaje, si logró disminuir el esfuerzo cognitivo extrínseco, lo que permite que los estudiantes puedan destinar más recursos de su memoria de trabajo al aprendizaje del fenómeno en sí.

Finalmente, Yang et al. (2021), construyeron el modelo EIA (Experiencia-Investigación-Applicación) para evaluar su alcance en la promoción de actividades de indagación científica bajo un entorno de aprendizaje de AR en un curso de ciencias, para

investigar cómo el modelo EIA y el entorno de aprendizaje de AR influyen en el aprendizaje de diferentes temáticas de ciencias en los estudiantes. En este estudio los resultados sugirieron que los estudiantes que participaron en el modelo EIA bajo el entorno de AR obtuvieron los mejores resultados; también aportó pruebas para apoyar que tanto el modelo EIA como el entorno de AR, tienen efectos positivos significativos en el rendimiento de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias.

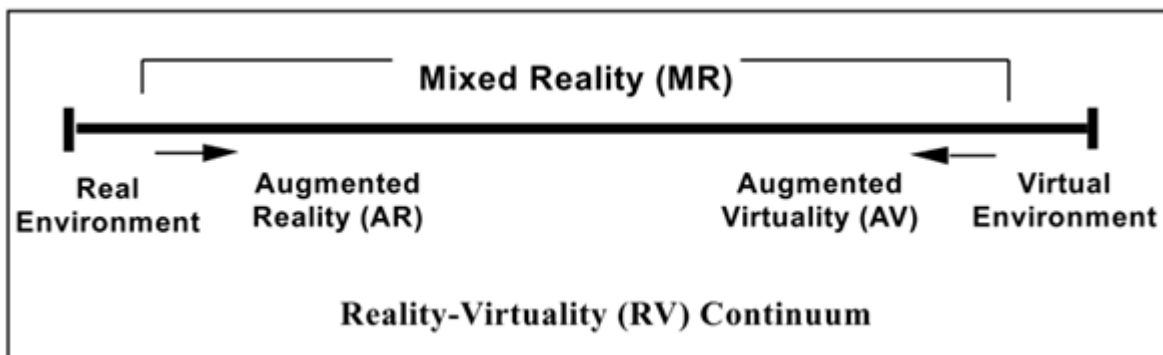
Desde esta perspectiva, se prueba que el desarrollo de aplicaciones educativas que se basen en la tecnología de la AR, en este caso en particular en la enseñanza de las ciencias naturales, es un campo amplio de investigación que se ha ido nutriendo constantemente. La introducción de esta tecnología en el campo educativo ha dado resultados positivos, trayendo beneficios en la comprensión de las temáticas, ya que ha mejorado la motivación y atrae a los estudiantes. Sin embargo, las investigaciones de la aplicación de esta tecnología en la enseñanza de la genética aún son muy escasas.

3. Marco Teórico

3.4. Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (AR) es una tecnología emergente que está siendo ampliamente utilizada, en la cual se combina información virtual con el mundo real. Esta tecnología está definida por el “continuum” realidad – virtualidad, el concepto está ilustrado en la figura 1. “Continuum” Continuo de Virtualidad, el cual nos permite representar una escala continua que fluctúa entre lo virtual y lo real, por lo que de izquierda a derecha va aumentando el grado de estímulos creados por los computadores, de este modo, se puede observar cómo la Realidad Aumentada (AR) se encuentra más cercana al punto del mundo real, debido a que superpone objetos virtuales en la realidad o entorno real, mientras que, la Realidad Virtual es aquella en la que el observador está totalmente inmerso en un mundo completamente artificial, que puede estar o no basado en el entorno real y que puede llegar a superar los límites del mundo real impuestos por las leyes de la física, por tanto en la virtualidad toda la información es suministrada por un sistema de cómputo (Milgram, Takemura, Utsumi, y Kishino, 1994).

Figura 1 “continuum” realidad – virtualidad ((Milgram et al., 1994)



Desde esta perspectiva, se puede definir un entorno genérico para la Realidad Mixta (MR), en el cual los objetos del mundo real y del mundo virtual se presentan juntos en una

sola pantalla, es decir, en cualquier lugar entre los extremos del “continuum” (Milgram et al., 1994). En este punto se presenta la AR en la cual el usuario puede ver el mundo real, con objetos virtuales superpuestos. Esta tecnología presenta tres características: a) combinación de elementos virtuales con el mundo real, b) interactividad en tiempo real, c) registro en 3D (Azuma, 1997).

Más recientemente, Klopfer y Squire (2008), definen la AR “en general como una situación en la que un contexto del mundo real se superpone dinámicamente con una ubicación coherente o información virtual sensible al contexto” (p. 205). Asimismo, se puede considerar la AR como un concepto, cuya conceptualización va más allá de la tecnología, a pesar de que su realización y experimentación dependan de ella (Diegmann, Schmidt-Kraepelin, Eynden, y Basten, 2015).

3.1.1. Taxonomía de la Realidad Aumentada

Milgram et al. (1994), clasifican las tecnologías existentes en dos categorías. La primera de esta es la basada en “ver a través” de pantallas transparentes basadas en un espejo que permiten ver la información real y virtual al mismo tiempo. Y la segunda categoría es la tecnología basada en monitores, en este caso, la información es generada por el computador y superpuesta digitalmente a la información real captada por la cámara del dispositivo. Actualmente, esta tecnología también es accesible desde los dispositivos móviles.

Adicionalmente, Klopfer (2008), empleó un espectro para enfatizar el peso de la información digital proporcionada por la AR. De esta forma, una realidad ligeramente aumentada se refiere a una situación en la que los usuarios emplean gran cantidad de información y materiales físicos del mundo real, y tienen acceso a relativamente poca información virtual. Por otro lado, una realidad muy aumentada contiene información virtual en mayor proporción y frecuentemente accesible. De esta forma, se puede hacer una distinción entre el papel de la tecnología empleada para visualizar cada tipo de realidad

aumentada. Así, en una realidad muy aumentada, se usan mayormente las tecnologías inmersivas, un ejemplo de esto son los hololens. Mientras que, en la realidad ligeramente aumentada, los usuarios interactúan principalmente con materiales y objetos físicos, y ocasionalmente manipulan y acceden a la información virtual, este sería el caso del uso de dispositivos móviles (Wu, Lee, Chang, & Liang, 2013).

3.1.2. Realidad Aumentada y Educación

Esta tecnología tiene muchas aplicaciones actualmente, sin embargo, nos centraremos en su aplicación educativa y el potencial que tiene en esta área. Yuen, Yaoyuneyong, & Johnson (2011), examina las cinco principales aplicaciones de la AR en el campo educativo.

Libros con AR. La tendencia de la lectura con AR cada vez está creciendo más, la posibilidad de vincular la lectura con representaciones en tercera dimensión y con experiencias interactivas de aprendizaje ha llamado la atención de los usuarios.

Juegos con AR. Los juegos educativos cada vez son más populares por su capacidad de motivar a los estudiantes cuando están bien orientados. Con la ayuda de la tecnología AR, los juegos que se basan en el mundo real y se complementan con datos en red pueden brindar a los educadores nuevas y poderosas formas de mostrar relaciones y conexiones.

Aprendizaje Basado en el Descubrimiento Utilizando AR. La AR se puede usar en aplicaciones que permiten el aprendizaje basado en el descubrimiento. Por ejemplo, se puede proporcionar información virtual sobre un lugar del mundo real al mismo tiempo que considera el objeto de interés. Este tipo de aplicación se usa a menudo en museos, en educación astronómica y en lugares históricos.

Modelamiento de Objetos. En este caso la AR se puede utilizar para modelar objetos, lo que permite a los estudiantes visualizar cómo se vería un elemento dado en diferentes

configuraciones. Estos modelos se pueden generar rápidamente, manipular y rotar, de esta forma los estudiantes reciben retroalimentación visual inmediata sobre sus ideas y diseños.

Entrenamiento de Habilidades. La aplicación de la AR en este tipo de aplicaciones se apoya en la capacidad de las personas en realizar tareas específicas, especialmente en habilidades mecánicas. Tal es el ejemplo del mantenimiento de aviones, donde se muestra cada paso de una reparación, se identifican las herramientas necesarias y se incluyen instrucciones textuales.

Aunque la aplicación de la AR no debe considerarse una “bala mágica”, porque cada contexto educativo es diferente, si es notable que la aplicación de esta tecnología trae beneficios en el aprendizaje desde sus diferentes aplicaciones. Los principales beneficios que se han encontrado sobre la aplicación de la AR en el contexto educativo se encuentran en la curva de aprendizaje mejorada y aumento en la motivación (Diegmann et al., 2015).

3.2. Esfuerzo Cognitivo

La teoría del esfuerzo cognitivo (CLT) (Kirschner et al., 2018; Sweller, 1988; Sweller et al., 2019) postula que la memoria de trabajo tiene una capacidad de procesamiento limitada en cuanto a la cantidad de información que se puede procesar simultáneamente, así como el tiempo durante el cual se puede retener la información.

En principio (Sweller, 1988), investigó la relación entre la resolución de problemas y la adquisición de esquemas, para lo cual encontró que la resolución de problemas no deja capacidad para el aprendizaje, ya que ocupa muchos recursos de la memoria de trabajo. El esfuerzo cognitivo se refiere a los recursos totales de la memoria de trabajo necesarios para llevar a cabo una tarea de aprendizaje. Esto indica que la memoria humana puede dividirse en dos formas básicas, la memoria de trabajo y la memoria a largo plazo. La información que se

almacena en la memoria a largo plazo adopta la forma de esquemas, y el procesamiento de la nueva información requiere un esfuerzo mental que da lugar a un esfuerzo cognitivo en la memoria de trabajo que afecta a los resultados del aprendizaje (Sweller, 1988).

De esta forma se sabe que la memoria a corto plazo del ser humano es muy limitada y cualquier situación que requiera almacenar un gran número de elementos en la memoria a corto plazo puede contribuir a un esfuerzo cognitivo excesiva. Puesto que la memoria a corto plazo corresponde a la memoria de trabajo de un sistema de producción, se puede suponer que un mayor número de enunciados en la memoria de trabajo aumenta el esfuerzo cognitivo (Sweller, 1988).

De acuerdo con (Leppink et al., 2013, 2014; Leppink & van den Heuvel, 2015; Sweller et al., 2019), la cantidad de recursos mentales necesarios para realizar una tarea de aprendizaje puede describirse en tres categorías de esfuerzo cognitivo: esfuerzo cognitivo intrínseco, extrínseco y germánico.

3.2.1. Esfuerzo Cognitivo Intrínseco

El esfuerzo cognitivo intrínseco (ICL), se refiere a todo el esfuerzo mental que se requiere para procesar la complejidad propia de la tarea de aprendizaje, en otras palabras, complejidad inherente de la información que hay que procesar. Este tipo de carga depende de la estructura interna de la tarea de aprendizaje y de los conocimientos previos de los estudiantes relacionados con la tarea. De esta forma unos conocimientos previos altos traducen en que los estudiantes pueden aplicar los esquemas desarrollados con anterioridad para procesar la nueva información, con esto el esfuerzo cognitivo es menor (Sweller et al., 2019).

3.2.2. Esfuerzo Cognitivo Extrínseco

Por otra parte, el esfuerzo cognitivo extrínseco (ECL) se refiere al esfuerzo mental necesario para procesar la forma en que se presenta el material instructivo, es decir las instrucciones para realizar la tarea y todos los elementos del material de aprendizaje que no están relacionados con la información que debe ser procesada. Por lo tanto, no forma parte del aprendizaje esencial, sin embargo, emplea recursos de la memoria de trabajo. (Sweller et al., 2019). Es aquí donde se deben hacer los ajustes al modelo instruccional de forma que se pueda reducir al máximo el esfuerzo cognitivo extrínseco para tener más recursos disponibles para el procesamiento de la información (Küçük et al., 2016; Sweller, 2010; Sweller et al., 2019; Thees et al., 2020; Yang et al., 2021).

3.2.3. Esfuerzo cognitivo germánico

El esfuerzo cognitivo germánico (GCL) se refiere al procesamiento central de la información para construir nuevas estructuras de conocimiento. Este tipo de carga surge de relacionar la información relevante de la memoria a largo plazo o del contexto con los nuevos elementos de información (Sweller, 2010) y, como tal, pertenece a los recursos de la memoria de trabajo asignados para hacer frente al esfuerzo cognitivo intrínseco (Kalyuga, 2011; Sweller, 2010). Efectivamente, el término "esfuerzo cognitivo germánico" se ha utilizado en la forma tradicional de la teoría del esfuerzo cognitivo (Sweller, 1988), mientras que el término "fuentes germánicos" (es decir, los recursos de la memoria de trabajo asignados para afrontar a la esfuerzo cognitivo intrínseco) se ha utilizado en la versión reciente de la teoría y, por lo tanto, se relaciona con el esfuerzo cognitivo intrínseco (Kalyuga, 2011; Sweller, 2010). Por lo tanto, el esfuerzo cognitivo germánico es estrictamente una función de los recursos de la memoria de trabajo dedicados a los elementos interactivos que determinan la esfuerzo cognitivo intrínseco (Sweller, 2010). Recientemente se asume que el esfuerzo cognitivo germánico tiene una función redistributiva hacia el esfuerzo cognitivo intrínseco y extrínseco

y que, por tanto, no es un tipo de esfuerzo cognitivo independiente (Kirschner et al., 2018; Sweller et al., 2019). Aun así, el esfuerzo cognitivo germánico es un indicador de los procesos de aprendizaje individuales. Esto da lugar a la reclasificación del esfuerzo cognitivo hacia un modelo de dos factores ICL/ECL (Sweller et al., 2019).

4. Descripción del Desarrollo Tecnológico

Dado que uno de los desafíos del aprendizaje de la genética clásica es la aplicación de conceptos estadísticos al momento de elaborar cuadros de Punnett, los cuales consisten en una serie de cuadrantes en el que se representa la probabilidad de obtener determinado genotipo y por tanto un fenotipo; es usual que se relacione la cantidad de cuadros con la cantidad de descendientes, lo cual es incorrecto. Así, con el diseño de la aplicación se buscó facilitar la comprensión del concepto de probabilidad, al permitir la visualización de una selección aleatoria que pasa por todo el cuadro de Punnett, asemejando una ruleta que al detenerse muestra el cuadrante escogido y por tanto el organismo presentará esas características. De esta forma al realizar diferentes cruces, se hace una simulación del proceso aleatorio de la fecundación en la reproducción sexual.

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó, desarrolló y empleó una aplicación educativa para dispositivos móviles basada en los principios de la Realidad Aumentada (AR), llamada GeneticAR. Para su creación se usó el programa Unity, donde se programó el reconocimiento de marcadores con personajes fantásticos y atractivos en formato 3D, dichos marcadores se configuraron con interacción entre ellos con el ánimo de mostrar diferentes resultados de acuerdo al cruce seleccionado por el estudiante; de esta forma, la aplicación móvil permite experimentar conceptos de genética clásica de forma interactiva, divertida e innovadora al dejar que el estudiante modifique los genotipos de los organismos, al cruzar dos marcadores (macho-hembra) de la misma especie; finalmente, la aplicación muestra las proporciones fenotípicas y genotípicas en un cuadro de Punnett, así como la descendencia obtenida del cruce en un modelo 3D.

Teniendo en cuenta los conceptos que se abordaron en genética Mendeliana para el grado noveno, la aplicación móvil se acompañó de una cartilla didáctica; para efectos del

diseño metodológico de la investigación, se desarrollaron dos cartillas con las misma información; la primera cartilla se construyó con base en la estrategia didáctica de realidad aumentada, con la cual trabajó el grupo experimental y, la segunda cartilla solo manejó los conceptos de genética Mendeliana de forma tradicional, con esta trabajaron los estudiantes del grupo control.

4.1. Aplicación Móvil Basada en los Principios de la Realidad Aumentada

De acuerdo con la estrategia didáctica de la investigación se desarrolló la aplicación móvil “GeneticAR” que hace uso de los principios de la AR. Esta aplicación utiliza nueve marcadores (figura 2), los cuales constan de cuatro parejas de personajes fantásticos (macho y hembra) y un marcador que representa el cuadro de Punnett.



Figura 2 Parejas de marcadores de personajes y marcador del cuadro de Punnett

GeneticAR emplea la cámara del dispositivo móvil para reconocer los marcadores y de esta forma incorporar la información virtual, sobreponiéndola sobre los marcadores escaneados como se muestra en la figura 3a. La aplicación fue programada para que, al

reconocer los marcadores de los personajes fantásticos, muestre el personaje en formato 3D sobre el marcador, estos personajes cuentan con animaciones. Adicionalmente, se incluye una versión digital del marcador en la que se puede manipular el genotipo, cuando este es modificado, el fenotipo del personaje igualmente es afectado (figura 3b).



Figura 3 a) Izquierda: modelos de los personajes 3D usados sobre los marcadores. b) Derecha, opción de modificar el genotipo de cada personaje.

La aplicación cuenta con una configuración que permite la interacción entre los marcadores escaneados, de forma que, al reconocer una pareja de personajes de la misma “especie”, más el marcador del cuadro de Punnett muestra la información genotípica del cruce seleccionado por el estudiante; esta información se actualiza cuando los genotipos de los parentales son modificados, así, se puede observar la probabilidad de cada uno de los posibles genotipos. de este modo, cuando el usuario selecciona la opción “reproducir”, un cuadro de selección se mueve sobre los cuadrantes del cuadro de Punnett, aumentando su velocidad, cuando la velocidad de la selección llega a su máximo, el estudiante puede seleccionar la opción “detener” de este modo disminuye la velocidad de la selección hasta el punto de detenerse por completo en uno de los cuadrantes, mostrando el resultado del cruce a través de un personaje en formato 3D con las características fenotípicas correspondientes al genotipo seleccionado, este último corresponde a la descendencia del cruce (figura 4).



Figura 4 Interfaz del momento de reproducción

4.2. Cartilla Didáctica

De igual forma, se elaboró y empleó una cartilla didáctica titulada “Expedición Mendeliana. Una Aventura Génica” la cual está dividida en tres ejes temáticos. El primer núcleo trabaja los conceptos de genética clásica necesarios para la comprensión de las subsiguientes temáticas, en este eje también se explica la relación entre las representaciones del cuadro de Punnett y el uso de las probabilidades. El segundo eje aborda las tres leyes propuestas por Mendel y, finalmente, el tercer eje incorpora el tema de herencia incompleta, en el cual se aborda uno de los patrones de herencia que no cumple las leyes de Mendel. De este material se desarrollaron dos versiones, una de ellas se creó para ser aplicada con los estudiantes del grupo control, la cual contiene los tres ejes temáticos y las respectivas actividades a ser trabajadas por parte de los estudiantes (figura 5). Mientras que, la segunda versión trabajó los mismo tres ejes temáticos pero, fue adaptada para que las actividades se desarrollaran con el uso de la estrategia didáctica basada en realidad aumentada, para esta versión, se incorporaron los marcadores con los cuales se realizaron cada una de las actividades, finalmente se agregó una breve descripción de la aplicación y un tutorial para su

uso e instalación; este material incluyó adicionalmente un juego de marcadores impresos de forma independiente (figura 6).

EXPEDICIÓN MENDELIANA. UNA AVENTURA GÉNICA.
Si la naturaleza es la respuesta, ¿cuál era la pregunta?
Jorge Wagensberg.

¿CÓMO LLENAMOS UN CUADRO DE PUNNETT DIHÍBRIDO?

Paso 1
Guisantes Amarillos-Lisos Homocigóticos (RR YY) x Guisantes Verdes-Rugosos Homocigóticos (rr yy)
Gametos: Rr Yy
F1: Generación Filial 1: 100% Guisantes híbridos amarillo-lisos (Rr Yy)

Paso 2
Rr Yy x Rr Yy
Gametos: RY, Ry, rY, ry

Paso 3
F2: Generación Filial 2: 16 combinaciones de gametos.
Fenotipos y proporción: 9 : 3 : 3 : 1

Hora de experimentar

- Realiza los siguientes cruces y registra los resultados en tu cuaderno.
✓ AA BB x aa bb
✓ Aa Bb x Aa Bb
- Para ambos casos, construye un cuadro de Punnett dihíbrido e indica sus probabilidades.
- Experimenta libremente las características del organismo Dínko.

Especie Dínko

Alelo: Color de las aletas
Dominante: Amarillo
Recesivo: Verde

Alelo: Forma del cuerno
Dominante: Corto-Recto
Recesivo: Largo-Curvo

Figura 5 Cartilla "Expedición Mendeliana. una Aventura Génica"

GENETIC AR
EXPEDICIÓN MENDELIANA: UNA AVENTURA GÉNICA.
Si la naturaleza es la respuesta ¿Cuál era la pregunta?
Jorge Wagensberg.

¿CÓMO USO GENETICAR?

Ubica dos marcadores de la misma especie, un macho y una hembra, más el marcador del cuadro de Punnett. Selecciona los genotipos que vas a cruzar. Sobre el marcador del cuadro de Punnett aparecerán las proporciones.

En el momento que lo desees detén la selección, aleatoriamente quedará en uno de los cuadrantes.

Luego aparecerá la descendencia arriba de cuadro de Punnett.

Segunda ley de Mendel: PRINCIPIOS DE SEGREGACIÓN DE LA SEGUNDA GENERACIÓN FILIAL O F2.

Mendel permitió que la generación F1 se autofecundara, obteniendo una segunda generación Filial (F2) de plantas con dos características, en proporción 3:1.

Con estos experimentos descubrió que, en la descendencia F2 aparecerán las características en proporción de 3 a 1 que, en F1 no se expresaron, a esta característica le llamo **Recesiva**.

Recordemos
Cada alelo se separa y se distribuye en los gametos de forma independiente.

Hora de experimentar

- Realiza un cruce de dos organismos homocigotos del mismo alelo y anota los resultados.
- Escanea dos marcadores homocigotos de diferentes alelos y anota los resultados.
- En tu cuaderno construye un cuadro de Punnett monohíbrido con los resultados obtenidos y compara los resultados.

PREEKA ♂
COLOR DEL PELAJE Dominante: Café Recesivo: Gris

PREEKA ♀
COLOR DEL PELAJE Dominante: Café Recesivo: Gris

Figura 6 Cartilla adaptada para el uso de la aplicación "GeneticAR"

4.3. Casos de uso

Los organismos tenemos unas características que se expresan y que pueden ser observables o cumplen funciones fisiológicas o comportamentales, esto se denomina fenotipo, sin embargo, no conocemos la información genética con la que contamos, esta información completa se llama genotipo. Un ejemplo hipotético sería; una planta de arveja de tallo alto (planta hija) cuyos progenitores son: una planta de tallo alto y una planta de tallo enano. De esto se puede asumir que en el genotipo de la planta hija se encuentra la información para generar descendencia con tallos enanos, sin embargo, su fenotipo es tallo alto, esto porque es la forma del gen que tiene mayor probabilidad de expresarse. En este caso, cuando una forma del gen tiene mayor probabilidad de expresión se denomina alelo dominante y la que tiene menor probabilidad de expresión se denomina alelo recesivo. Ya que la forma del gen de tallo alto es dominante; un cruce entre los progenitores de este ejemplo tendrá como descendencia todas las plantas de tallo alto, es decir, existe una probabilidad del 100% de que sean de tallo alto, y si se cruzan las plantas descendientes entre sí, existe una probabilidad del 75% de que las plantas tengan tallo alto y un 25% de probabilidad de que tengan tallo enano, como se muestra en la figura 7.

En la genética tradicional mendeliana la dominancia se expresa con letras mayúsculas y la recesividad con letras minúsculas. Continuando con el ejemplo anterior podemos decir que la forma de tallo alto se representa por la letra “A” y la forma de tallo enano por la letra “a”. Se usa la misma letra porque son las dos formas de un mismo gen. Por otra parte, en el cuadro de Punnett se representan las posibles combinaciones de alelos en los gametos (células sexuales) de los progenitores y el resultado de la posible fecundación de estos gametos. Así en la parte externa se muestra el alelo que puede portar cada gameto de los progenitores y en el centro del cuadro las posibles combinaciones luego de la fecundación.

En la figura 8 se muestra la representación de los cruces del ejemplo en los cuadros de Punnett.

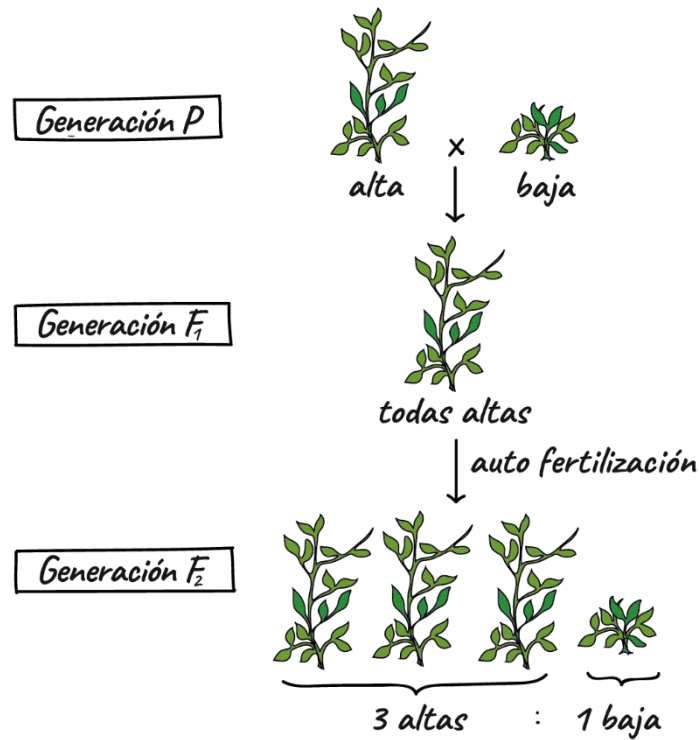


Figura 7: Imagen modificada de "Los siete caracteres de Mendel", por Mariana Ruiz Villareal (Khan Academy).

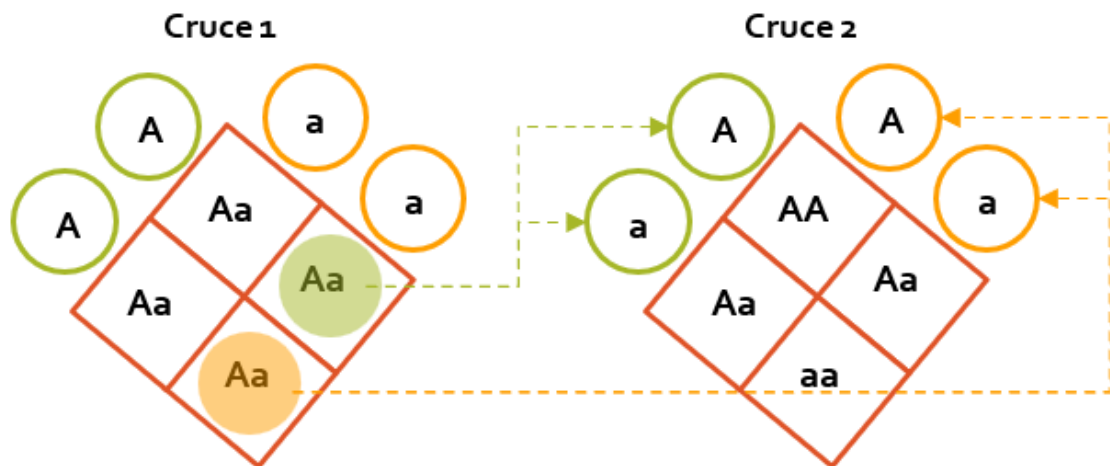



Figura 8: Representación en los cuadros de Punnett.

La aplicación GeneticAR se diseñó pensando en permitir la visualización en tiempo real de las posibles combinaciones que surgen de los diferentes cruces. Para ser empleada durante la resolución de retos en lo que es necesario aplicar este conocimiento.

A continuación, se muestra una de las actividades presentadas a los estudiantes en las cartillas. Se presenta el enunciado de forma tradicional (figura 9 y 10) y la misma actividad se desarrolla con el apoyo tecnológico de AR (figuras 11 y 12).



¡En mi cuaderno de ciencias!

Reto 3:
En el laboratorio, se han obtenido Preekas de color café homocigóticos y heterocigóticos (AA - Aa) a partir de Preekas cafés heterocigóticos (Aa). Se sabe que el gen alelo (a) codifica el color gris del Preeka.

Resuelve:
¿Por qué razón hasta el momento no se ha obtenido un Preeka de color gris?
Argumenta tu respuesta.




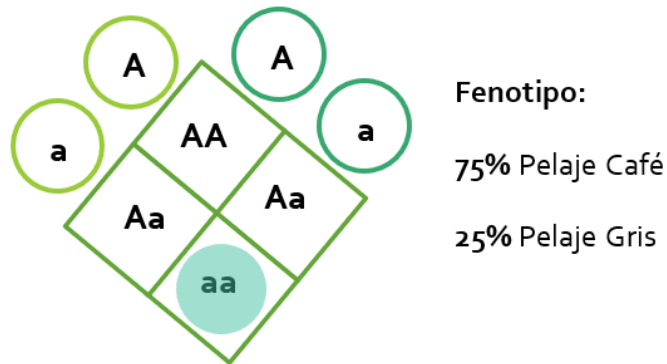
Figura 9 Actividad 3 de la cartilla “Expedición mendeliana: una aventura génica



Figura 10 Características de Preeka “Expedición mendeliana: una aventura génica”

Como se puede observar en la figura 12 la aplicación permite hacer una simulación del proceso de reproducción, además de mostrar el cuadro de Punnett con identificaciones de

color en sus casillas que se relacionan con el fenotipo que se expresaría, de esta forma se puede identificar con mayor claridad la proporción de los fenotipos. Finalmente muestra un “hijo”, en este caso este organismo tiene el genotipo de la casilla seleccionada y este proceso se puede repetir las veces que desee el usuario.



Respuesta: No se han obtenido Preekas con pelaje color gris porque esta variante es la menos probable que se exprese.

Figura 12 Forma tradicional de resolución del problema.

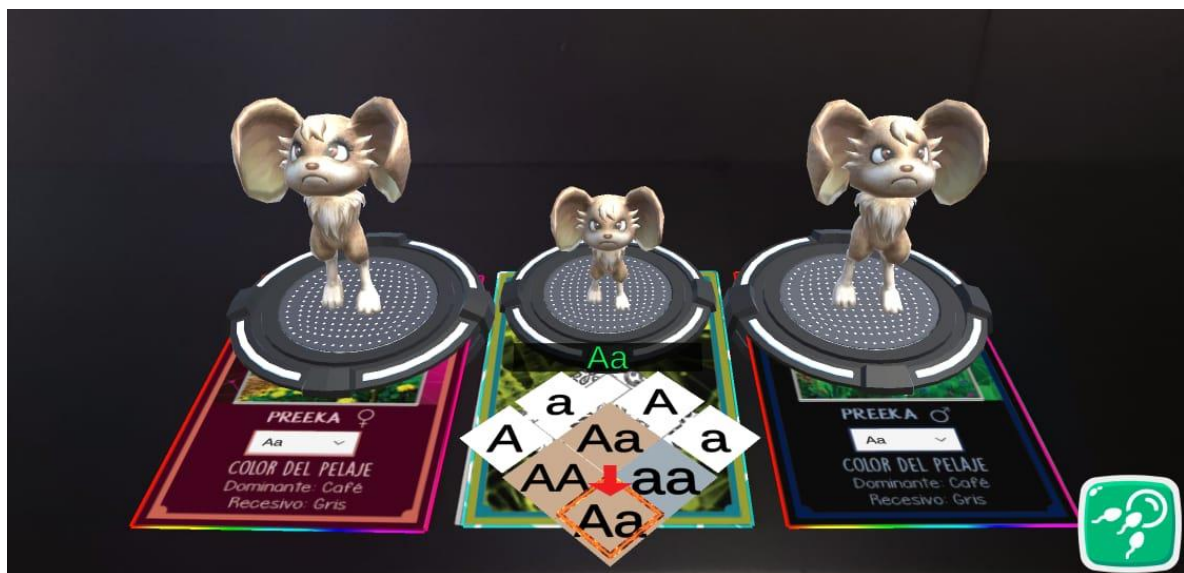


Figura 11 Cruce planteado por la actividad 3 de la cartilla usando la aplicación GeneticAR

5. Metodología

5.1. Tipo y Diseño de la Investigación

Se realizó una investigación cuantitativa de tipo cuasiexperimental con un alcance correlacional, el cual se consideró bajo un análisis multivariado de covarianzas de una vía; donde se evaluó el efecto de una aplicación móvil basada en Realidad Aumentada sobre el logro de aprendizaje en Genética Mendeliana, la motivación y el esfuerzo cognitivo de dos grupos de estudiantes previamente establecidos pertenecientes al grado noveno del Colegio Calasanz Bogotá.

Para el desarrollo de la investigación se tomó un curso (9° A) como grupo control y dos cursos (9° B y 9° C) como grupo experimental, los cuales fueron elegidos de forma aleatoria. Este último grupo trabajó con una aplicación móvil basada en Realidad Aumentada y una cartilla conformada por tres ejes temáticos (conceptos de genética clásica, leyes de Mendel y dominancia incompleta) cada una con sus respectivas actividades. Mientras que el grupo control solo trabajó con las actividades de la cartilla, sin el apoyo de la aplicación móvil.

Como variable independiente se toma el uso de la aplicación móvil en AR (Realidad Aumentada) con dos valores: “con aplicación móvil basada en AR” y “sin aplicación móvil basada en AR”. El estudio contempla tres variables dependientes: “motivación final” o (PostMSQL), “logro final” y “esfuerzo cognitivo” (C.C) para esta última se tomó el promedio de las preguntas referentes a sus tres valores: Intrínseco, Extrínseco y Germánico, creando las respectivas variables para cada una de las sesiones desarrolladas (sesiones 1, 2 y 3); para el caso de las covariables se toman dos valores: “motivación inicial” o (PreMSQL) y “logro inicial”.

El diseño experimental para el análisis de los datos es un Mancova, debido a que existe dos variables dependientes: “logro final” y “motivación final” o PostMSQL y una variable independiente AR con dos valores: “con Aplicación Basada en AR” y “sin Aplicación Basada en AR”. Para el análisis estadístico del Esfuerzo Cognitivo se aplicó un ANOVA de una vía para cada factor de manera individual.

5.2. Población y Muestra

En el estudio participaron de manera voluntaria 91 estudiantes de grado noveno del Colegio Calasanz Bogotá, de estos, 38 fueron hombres (41,8 %) y 53 fueron mujeres (58,2 %) con una edad que oscilaba entre los 14 y 16 años ($M=14,55$; $SD=0,543$). En la tabla 1 se relacionan la cantidad de estudiantes que participaron en el estudio.

Tabla 1. Tamaño de los grupos de acuerdo con el diseño para el análisis de los datos.

		Género			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Masculino	38	41,8	41,8	41,8
	Femenino	53	58,2	58,2	100
	Total	91	100	100	

5.3. Instrumentos

5.3.1. Cuestionario MSLQ - Motivación.

Con el ánimo de adquirir información concerniente a la motivación con que los estudiantes toman el curso de biología del grado noveno del Colegio Calasanz Bogotá, se aplicó el cuestionario MSLQ “Motivated Strategies for Learning Questionnaire” desarrollado por Pintrich y sus colegas de la Universidad de Michigan en 1991.

Este instrumento cuenta con un total de 81 ítems, repartidas en dos súper categorías que miden: Motivación, compuesta por 31 preguntas y Estrategias de Aprendizaje, compuesta

por 50 enunciados, a su vez, esta herramienta está organizado por quince categorías que pueden ser utilizadas en conjunto o de manera individual.

De este modo, la motivación se compone de seis subcategorías (motivación intrínseca (Int), motivación extrínseca (Ext), valor de la tarea (VTar), creencias de control de aprendizaje (CCAp), creencias de autoeficacia para el aprendizaje y desempeño (CAAD) y Test de ansiedad (TstA)) organizadas en tres categorías (Componente de Valor, Componente Expectativas y Componente Afectiva). Por otra parte, la súper categoría Estrategias de Aprendizaje se subdivide en nueve subcategorías (repetición (Rep), elaboración (Elab), organización (Org), pensamiento crítico (PC), metacognición y autorregulación (MC), tiempo y lugar de estudio (TmpL), esfuerzo y regulación (Esf), aprendizaje con pares (AP) y búsqueda de ayuda (BA)) organizadas en dos categorías (Estrategias cognitivas y metacognitivas y Estrategias de administración de recursos). (Pintrich et al., 1993).

El cuestionario de MSLQ cuenta con una escala Likert que va de 1 (totalmente en desacuerdo) a 7 (totalmente de acuerdo) y su principal objetivo es aportar información importante sobre las dinámicas y técnicas de estudio, así como aspectos relacionados con la motivación hacia el aprendizaje.

Para efectos de la investigación, se empleó solo la súper categoría de Motivación (primeras 31 preguntas del cuestionario), de esta forma el diseño contempló la aplicación del instrumento en dos momentos: al iniciar el proceso de investigación como Pretest con el objetivo de reconocer el estado inicial de la motivación de los estudiantes con respecto a la asignatura de Biología y una segunda aplicación al finalizar el proceso, como Posttest con la intención de comparar los resultados iniciales frente a los finales.

La súper categoría de motivación evalúa la capacidad de los estudiantes para llevar a cabo una tarea, su interés y la confianza en sus habilidades para realizarla (Pintrich et al., 1991). En este sentido, se midió la percepción de tener éxito, así como su confianza y seguridad para comprender los contenidos del curso de Biología, en específico el tema de genética Mendeliana.

De esta forma, se realizó el análisis de fiabilidad del instrumento de alfa de Cronbach para el cuestionario de motivación previo a la implementación PreMSQL= 0,84 y posterior a la implementación de la aplicación Móvil basada en la estrategia didáctica de Realidad Aumentada PostMSQL= 0,86, que, de acuerdo con la literatura especializada, estos valores dan cuenta de una alta fiabilidad del instrumento.

5.3.2. Test de Autorreporte - Esfuerzo Cognitivo

Con el fin de medir el efecto de la estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada sobre el esfuerzo cognitivo de los estudiantes que participaron en la investigación, se les pidió contestar el Test de Autorreporte de Leppink, el cual se aplicó al finalizar cada uno de las tres actividades propuestas durante la implementación de la investigación; así, el instrumento permitió identificar la percepción de los estudiantes sobre el esfuerzo cognitivo que realizan al ejecutar una actividad o tarea específica.

De este modo, para la medición de del esfuerzo cognitivo se empleó el Test de Autorreporte desarrollado por Leppink, et, al., (2014), que fue desarrollado por académicos que realizaron dos estudios, en los que emplearon un instrumento psicométrico, el cual permitía medir el esfuerzo cognitivo en tres categorías: intrínseco, extrínseco y germánico; el primer estudio realizado, se basó en la solución de tres factores para el aprendizaje de idiomas y una conferencia estadística en donde aplicó el instrumento, para cuyo caso evidenciaron una correlación negativa entre el examen y los factores que representan el

esfuerzo cognitivo extrínseco, el esfuerzo cognitivo intrínseco y el esfuerzo cognitivo germánico; en el segundo estudio realizado Leppink y sus colaboradores aplicaron el instrumento con pequeñas modificaciones, las cuales permitirían diferenciar el esfuerzo cognitivo intrínseco y el esfuerzo cognitivo extrínseco. Los resultados de este segundo estudio, sentó las bases para la reconceptualización del esfuerzo cognitivo germánico, como un referente de los recursos de memoria de trabajo propuesta a trabajar con el esfuerzo cognitivo intrínseco; de acuerdo con los resultado obtenidos por Leppink, et, al., (2014) esos reflejaron una fiabilidad del instrumento con un alfa de Cronbach de 0.89 para la esfuerzo cognitivo intrínseco, 0.87 para la carga extrínseco y 0.90 para la carga germánica, de este modo, los investigadores logran construir el Test de Autorreporte, instrumento que se empleó en la presente investigación.

Este instrumento cuenta con 13 ítems que se agrupa en tres tipos de esfuerzo cognitivo; E. C. Intrínseco: ítems 1 al 4, E. C. extrínseco: ítems 5 al 8 y E. C. germánico ítems 9 al 13; este cuestionario cuenta con una escala Likert de 0 a 10; donde 0 es completamente en desacuerdo y 10 completamente de acuerdo.

De este modo, se realizó el análisis de fiabilidad del instrumento de alfa de Cronbach para el cuestionario de cada uno de los tipos de esfuerzo cognitivo: E.C. Intrínseco= 0,97, E.C. Extrínseco= 0,95 y E.C. Germánico= 0,92 para efectos de la presente investigación, de esta manera se obtiene una alta fiabilidad del instrumento de acuerdo con la literatura.

5.3.3. Logro de Aprendizaje

El logro de aprendizaje previo se obtuvo mediante la aplicación de un quiz de diez preguntas abiertas sobre el tema de genética que ya se venía trabajando por la docente de la asignatura antes de iniciar la intervención en el aula. De esta forma, se hicieron preguntas sobre la ubicación y locación del material genético, estructura de las moléculas de los ácidos

nucleicos, conceptos de meiosis y fecundación. Esta evaluación formativa se aplicó de forma híbrida, la mitad de cada curso la presentó de manera presencial en físico y la otra mitad del grupo la presentó de forma remota mediante la aplicación de Forms embebida en la plataforma de Microsoft Teams. Esto debido al protocolo de alternancia que se estableció en la institución como medida preventiva ante la propagación del contagio por COVID – 19.

Posterior a la implementación, se obtuvo el logro de aprendizaje final, mediante la aplicación de una evaluación acumulativa que constó de 30 preguntas sobre el tema de la herencia. Este cuestionario fue diseñado para evaluar las competencias de ciencias naturales, de esta forma, la estructura de cada pregunta tuvo un contexto, un enunciado con información concreta sobre una situación, una problemática o un proceso específico de la competencia que se evalúa; cuatro opciones de respuesta y una única opción que responde correctamente la pregunta. De igual forma, esta evaluación se presentó de forma híbrida, la mitad de cada grupo la presentó de forma remota a través de Forms y la otra mitad del grupo la presentó de forma presencial en físico.

5.4. Procedimiento

La implementación se llevó a cabo durante el tercer periodo académico del año escolar 2021 en el Colegio Calasanz Bogotá, con 92 estudiantes de grado noveno, de los cuales, uno de ellos indicó no participar en la investigación, adicionalmente, al realizar el análisis estadístico se encontraron 11 registros atípicos, por tanto, los resultados se presentan sobre una base de 80 registros.

Para el desarrollo de la investigación, en primer lugar, se envió el documento de la propuesta de investigación al ICCE – Nazaret, el Instituto Calasanz de Ciencias de la Educación, quienes en primera instancia evaluaron la viabilidad de la investigación.

Posteriormente, el ICCE – Nazaret remitió la propuesta al consejo de rectoría del Colegio Calasanz Bogotá, donde se dio la aprobación de la propuesta.

Posteriormente, se presentó el marco general de la investigación, la aplicación y la cartilla ante el departamento de ciencias naturales, quienes de manera unánime aceptaron la implementación en los cursos de noveno, por concordancia de las temáticas en biología de este grado, de igual forma se presentó el formato de consentimiento informado, el cual fue aceptado y enviado a través de un formulario a los padres de familia de todos los estudiantes del grado noveno, junto con una circular donde se explicó el alcance de la investigación, el manejo de los resultados y la confidencialidad de los datos suministrados por parte de los estudiantes y sus familiares. Una vez recolectados todos los consentimientos informados y verificado su aceptación por parte de los padres o acudientes de los estudiantes, se procede a iniciar con la aplicación de la investigación, la cual se ejecutó en tres etapas:

5.4.1. Socialización del Proceso de Investigación

Se hizo un primer reconocimiento de los tres cursos de 9° grado, en la que se presentaron las investigadoras y se les informó a los estudiantes y a la docente de la asignatura, los objetivos de la investigación, la dinámica de ésta, el tiempo destinado a trabajar en las actividades y se explicó el tipo de actividades que se iban a desarrollar, como se manejaría la evaluación final y las generalidades del uso de la aplicación móvil, en el caso de los grupos control; además, se les explicó cómo se manejaría el diligenciamiento de los diferentes cuestionarios a usarse dentro del proceso de recolección de datos para la investigación.

En términos de dedicación de tiempo los estudiantes trabajaron durante 4 semanas en bloques de 2 horas por semana (45 minutos cada hora de clase), este tiempo fue tomado de las clases de biología. Estas clases se desarrollaron en modalidad híbrida debido a la

alternancia que se implementó por la emergencia sanitaria para prevenir el contagio por Covid – 19.

5.4.2. Implementación de la Estrategia de Investigación

Como investigación cuasi experimental, los grupos previamente formados, 9°A, 9°B y 9°C se ubicaron en sus respectivos espacios, una parte de los cursos se encontraba de forma presencial en los salones de clase y el resto de los grupos se conectaba de manera remota sincrónica a los espacios académicos de la asignatura. Como primera actividad, los tres grupos desarrollaron el cuestionario MSLQ para los ítems específicos de motivación, para este caso se tomó como PreMSLQ, esta herramienta se empleó con el propósito de obtener información relacionada únicamente sobre su motivación (primeros 31 ítems del cuestionario).

Al finalizar el diligenciamiento del cuestionario, los tres grupos trabajaron en la primera parte de la cartilla didáctica “Expedición mendeliana: una aventura génica”. Para el caso de los grupos experimentales esta cartilla contenía explicación del tema a través de la estrategia didáctica basada en los principios de Realidad Aumentada y, para el caso del grupo control la cartilla solo contenía información académica del tema. En los dos grupos se trabajó la parte de conocimientos previos, sobre los conceptos de genética clásica, con el propósito de conocer el logro inicial medido en términos de conocimientos y habilidades asociadas a la genética molecular, la cual se tomó de la evaluación de este tema.

Posteriormente, se da inicio a la intervención en términos educativos, de este modo, el grupo experimental (9°B y 9°C) recibieron formación relacionada con Genética Mendeliana, realizando las actividades diseñadas que contenía la cartilla didáctica apoyada por la aplicación móvil basada en los principios de Realidad Aumentada y que reforzaban la información teórica dada en cada una de las sesiones o clases trabajadas; en tanto, el grupo

control (9°A) recibió el mismo número de sesiones o clases, con la misma información teórica, usando la misma cartilla didáctica y realizando las mismas actividades diseñadas para la aplicación móvil, pero sin el uso de la estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada. Una condición particular de la implementación fue que los grupos se encontraban en un modelo de alternancia en el cual una semana la primera mitad de los estudiantes se encontraban de forma presencial, la siguiente semana se encontraba de forma presencial la segunda mitad de los grupos y en la tercera semana del ciclo todos los estudiantes asistían de forma presencial, a excepción de algunos estudiantes que tuvieron permiso debido a su situación de salud o de sus familiares. Cada semana uno de los novenos asistía completo, por lo cual había rotación de los salones de clase. Esta logística la estableció la institución debido a las condiciones que superaban el aforo de los salones de clase en los que se debía tener dos metros de distancia siguiendo los lineamientos establecidos por las secretarías de salud y educación para prevenir el contagio por Covid-19 en las instituciones educativas.

Cabe resaltar que todos los salones de la institución se encontraban dotados con los recursos tecnológicos necesarios para la conectividad, televisor, computador, cámara y las diademas con micrófono. Adicionalmente, la conexión se realizó por medio de la plataforma Teams de Microsoft la cual permite las conferencias y además la asignación de actividades, de esta forma todos los cuestionarios se distribuyeron de forma digital.

5.4.3. *Recolección de Datos*

Con el ánimo de obtener datos sobre el esfuerzo cognitivo, se solicitó a los dos grupos tanto experimental como grupo control diligenciar test de autorreporte de esfuerzo cognitivo de Leppink, et, al., (2014), esto se hizo al finalizar cada una de las tres actividades propuestas en la cartilla didáctica (conceptos de genética clásica, las 3 leyes de Mendel y dominancia incompleta).

Al finalizar la intervención, se les volvió a solicitar a los estudiantes el diligenciamiento de la super categoría de motivación del cuestionario MSLQ, con el propósito de identificar la percepción de su autoeficacia académica para el aprendizaje de contenidos en genética Mendeliana.

Y, finalmente se les aplicó una evaluación para obtener los resultados del logro final, sobre los conocimientos y habilidades asociadas a la genética Mendeliana.

Cabe resaltar que, las evaluaciones hechas a los estudiantes para identificar el logro inicial y final, los tests de pre y post de motivación, y los tests de esfuerzo cognitivo se desarrollaron a través de la herramienta de Microsoft Forms.

5.5. Variables

5.5.1. Variable independiente

Estrategia didáctica basada en realidad aumentada con dos valores:

- a) Con aplicación móvil basada en los principios de la AR (Grupo experimental)
- b) Sin aplicación móvil basada en los principios de la AR (Grupo control)

5.5.2. Variable dependiente

Se tomaron tres variables

- a) Post Cuestionario MSLQ (PostMSQL): con el cual se midió el grado de motivación de los estudiantes.
- b) Esfuerzo Cognitivo en sus tres tipos: esfuerzo cognitivo intrínseco (E.C. Intrínseco), esfuerzo cognitivo extrínseco (E.C. Extrínseco) y esfuerzo cognitivo germánico (E.C.

Germánico): se midió usando la herramienta Test de Autorreporte de Leppink, et, al., (2014).

- c) Logro de aprendizaje final: se midió aplicando una evaluación acumulativa que constó de 30 preguntas sobre el tema de la herencia.

5.5.3. Covariables

Se tomaron dos valores, los cuales se midieron a través de la aplicación del cuestionario MSLQ

- a) Pre-Cuestionario MSLQ (PreMSQL): el cual se aplicó al iniciar la implementación.
- b) Logro inicial: resultado de la evolución previa sobre conocimientos y habilidades asociadas a genética molecular

5.6. Hipótesis

5.6.1. Hipótesis de Investigación

Una estrategia didáctica basada en realidad aumentada favorece el aprendizaje de conceptos de genética clásica, la motivación y el esfuerzo cognitivo de los estudiantes de grado noveno.

5.6.2. Hipótesis Nula - H_0

La implementación de una estrategia didáctica basada en realidad aumentada no afecta la comprensión de conceptos de genética clásica, así como tampoco altera la motivación de los estudiantes frente a la asignatura ni cambia el esfuerzo cognitivo al momento de aprender el tema.

5.6.3. *Hipótesis Alternativa -H₁*

La interacción de los estudiantes con una aplicación basada en realidad aumentada aporta significativamente a la comprensión de los conceptos de genética clásica, mejora la motivación y favorece el esfuerzo cognitivo.

6. Resultados

6.1. Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el software Statistical Package for the Social Science- IBM SPSS versión 25.

6.1.1. Tratamiento de los Datos y las Variables

Cada una de las respuestas de los 91 estudiantes que realizaron los cuestionarios se compiló en una única matriz de datos para realizar el análisis estadístico, se creó una covariable denominada PreMSQL en donde se obtuvo el promedio de las respuestas del cuestionario para cada estudiante; se creó una covariable denominada Logro Inicial donde se asignó la calificación de la evaluación de conocimientos previos; se creó una variable denominada PostMSQL en donde se obtuvo el promedio de las respuestas del cuestionario para cada estudiante; se crearon nueve (9) variables, con los respectivos promedios correspondientes a cada uno de los tipos de esfuerzo cognitivo y cada uno de los (3) momentos de implementación de la estrategia basada en realidad aumentada; finalmente, se creó una variable denominada Logro Final en donde se asignó la calificación de la evaluación final obtenida por cada estudiante.

De acuerdo con Huitema (1980), se determinó el número de covariables pertinentes para el análisis estadístico, aplicando la siguiente expresión matemática:

$$\frac{C + (J - 1)}{N} < 0,1$$

Donde, C= número de covariables; J= número de grupos y N= número de participantes

$$\frac{2 + (2 - 1)}{80} < 0,1$$

Por lo tanto, $0,0373 < 0,1$; el número de covariables para el análisis estadístico es pertinente.

6.1.2. Análisis de Datos Perdidos y Datos Atípicos

En este caso la matriz de datos no tiene datos perdidos; en cuanto al análisis de datos atípicos se aplicó las puntuaciones típicas de cada una de las variables a analizar, en este caso se tomó como criterio de detección de datos atípicos las puntuaciones en valor absoluto superiores a 2,5, de esta manera se obtienen 11 datos atípicos los cuales se muestran en la figura 1 y que además fueron eliminados para continuar el análisis estadístico, el cual se realizó con 80 observaciones.

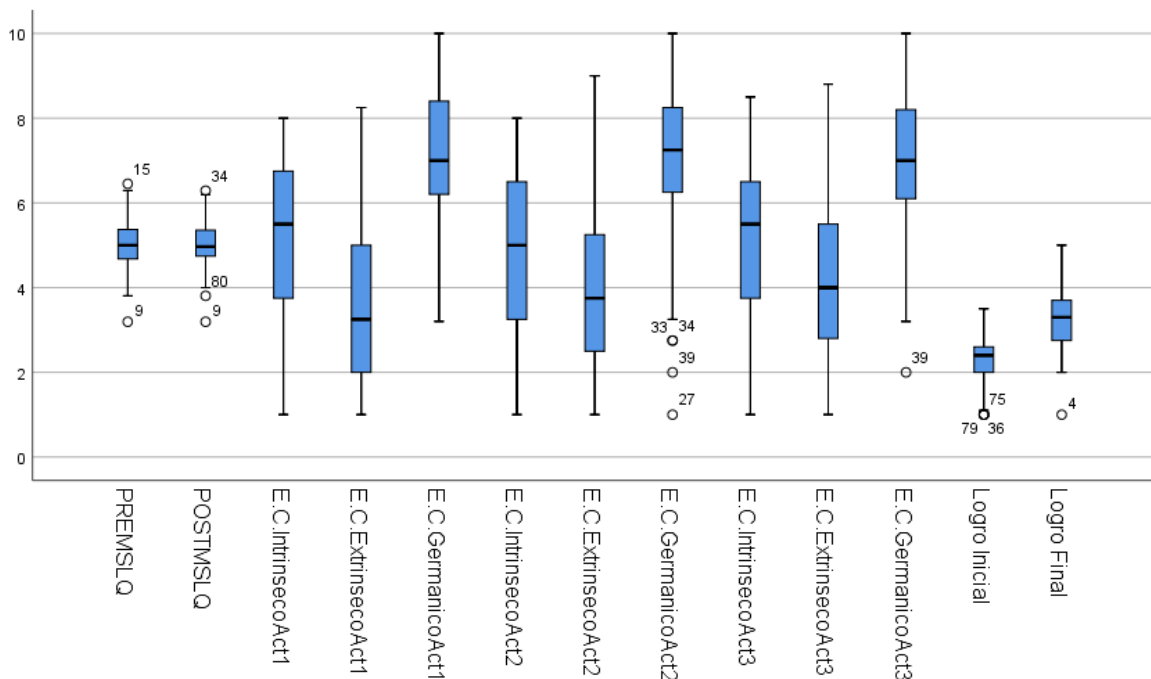


Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes de las variables, se señalan los 11 datos atípicos con el respectivo número asignado del estudiante.

6.2. Estadísticos Descriptivos de la Muestra.

Una vez que fueron eliminadas las observaciones con los datos atípicos, la matriz de datos se consolidó con las respuestas de los cuestionarios y calificaciones de 80 estudiantes válidos para el análisis estadístico; a continuación se muestran los estadísticos descriptivos por edades (Tabla 2), con un mínimo de 14 años y un máximo de 16 años y una media de 14,51 (SD= 0,55); la tabla de frecuencias por género (Tabla 3), donde hicieron parte 34 hombres (42,5%) y 46 mujeres (57,5%) y se realizó la distribución de grupos experimentales (Tabla 4) de los participantes en la investigación, con 27 (33,8%) estudiantes en el grupo control (Sin Aplicación basada en Realidad Aumentada) y 53 (66,3%) estudiantes en el grupo experimental (Con Aplicación basada en Realidad Aumentada).

Tabla 2. Información descriptiva de la edad de los estudiantes participantes

Estadísticos descriptivos							
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar	Asimetría	Curtosis
Edad	80	14	16	14,51	0,55	0,41	-0,93

Tabla 3. Frecuencias del género de los estudiantes participantes.

Género					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Masculino	34	42,5	42,5	42,5
	Femenino	46	57,5	57,5	100,0
	Total	80	100,0	100,0	

Tabla 4 . Distribución de los estudiantes para los grupos experimentales

AR					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Sin Aplicación basada en AR	27	33,8	33,8	33,8
	Con Aplicación basada en AR	53	66,3	66,3	100,0
	Total	80	100,0	100,0	

6.2.1. Estadísticos Descriptivos Cuestionario de Motivación PreMSLQ y PostMSLQ.

Los resultados del cuestionario MSLQ se basaron en la escala de Likert con intervalo de 1 a 10, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 10 es totalmente de acuerdo; se obtuvo unos resultados muy similares en cuanto al promedio del cuestionario antes y después de implementada la estrategia basada en AR (Tabla 5); se muestra que la motivación aumentó luego de la intervención realizada. Adicionalmente, es importante destacar que los estudiantes que hacen parte del grupo control mostraron un promedio más alto en la motivación (5,004 y 5,12) en comparación con los estudiantes que hicieron parte del grupo experimental (4,99 y 5,09).

Tabla 5. Información descriptiva del cuestionario de motivación MSLQ.

		Estadísticos descriptivos				
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
PreMSLQ	Sin Aplicación basada en AR	27	3,8	6,3	5,004	0,62
	Con Aplicación basada en AR	53	4	6,1	4,99	0,49
PostMSLQ	Sin Aplicación basada en AR	27	4,2	6,2	5,12	0,53
	Con Aplicación basada en AR	53	4	6,2	5,09	0,48
N válido		80				

6.2.2. Estadísticos Descriptivos Logro Inicial y Logro Final.

Las calificaciones de las evaluaciones tanto de conocimientos previos, como de final del periodo (Logro Inicial y Logro Final respectivamente) tienen un intervalo de 1 a 5, donde 1 es desempeño académico bajo y 5 es desempeño académico superior; en la Tabla 6 se puede evidenciar que el promedio de las calificaciones de la evaluación de conocimientos previos (Logro Inicial), aunque está en un nivel bajo, es mayor para el grupo Sin Aplicación basada en AR $M= 2,76$ (grupo control), en comparación con el grupo Con Aplicación basada en AR $M= 2,14$ (grupo experimental); en la evaluación final de periodo (Logro Final), se

evidencia un aumento en el promedio del desempeño académico, aun así sigue siendo más alto el promedio del grupo Sin Aplicación basada en AR $M= 3,83$ (grupo control) en comparación con el grupo Con Aplicación basada en AR $M= 3,35$ (grupo experimental), este resultado muestra no solo que ambos grupos tuvieron mejores resultados después de la implementación, sino que también el grupo que más mejoró fue el grupo control.

Tabla 6. Información descriptiva de las calificaciones obtenidas por los estudiantes.

		Estadísticos descriptivos				
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
Logro Inicial	Sin Aplicación basada en AR	27	2,2	3,5	2,76	0,37
	Con Aplicación basada en AR	53	1	3,1	2,14	0,43
Logro Final	Sin Aplicación basada en AR	27	2,5	5	3,83	0,62
	Con Aplicación basada en AR	53	2	4,7	3,35	0,65
N válido		80				

6.2.3. Estadísticos Descriptivos Esfuerzo Cognitivo.

Se aplicó el test de autoreporte para valorar el Esfuerzo Cognitivo en sus tres tipos: Intrínseco, Extrínseco y Germánico en cada uno de los grupos de estudiantes (Sin Aplicación basada en AR y Con Aplicación basada en AR) se calculó el promedio en cada uno de los tipos de Esfuerzo Cognitivo (Tabla 7) el cual mostró valores muy altos en el E.C. Germánico, en segundo lugar el E.C. Intrínseco y finalmente el E.C. Extrínseco; al hacer la comparación de los promedios en cada uno de los grupos de estudiantes se evidenció un Esfuerzo Cognitivo más alto en el grupo Con Aplicación basada en AR y en cada una de las tres actividades propuestas para el aprendizaje de la genética mendeliana (Tabla 8); los resultados mostraron que en cada una de las actividades implementadas los promedios más altos por cada uno de los tipos de E.C., se distribuyeron de la siguiente manera: E.C. Germánico para la actividad 2 para los dos grupos (7,37 y 7,51), seguido por el E.C. Intrínseco en la actividad

3 (4,84 y 5,38), y para el E.C. Extrínseco en la actividad 3 (3,82 y 4,46). El E.C. más alto en todas las actividades fue el germánico, tanto para el grupo control como experimental, lo cual demuestra que se están invirtiendo recursos en el procesamiento de la información para el aprendizaje en ambos grupos. Sin embargo, para todos los tipos de E.C., el grupo experimental obtuvo promedios más alto en todas las actividades como se puede observar en la tabla 6. Adicionalmente, Para las actividades 1 y 2 existió una diferencia más alta entre grupo control y experimental en el E.C. Intrínseco, lo que muestra que más recursos se invirtieron para el aprendizaje en el grupo experimental que en el grupo control

Tabla 7. Información descriptiva del cuestionario de Esfuerzo Cognitivo.

		Estadísticos descriptivos				
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
E.C. Intrínseco	Sin Aplicación basada en AR	27	1	7,7	4,581	1,89
	Con Aplicación basada en AR	53	1,3	8,2	5,306	1,93
E.C. Extrínseco	Sin Aplicación basada en AR	27	1	6,9	3,544	1,62
	Con Aplicación basada en AR	53	1	8,5	4,202	2,05
E.C. Germánico	Sin Aplicación basada en AR	27	5,4	10	7,156	1,19
	Con Aplicación basada en AR	53	3,2	10	7,345	1,41
N válido		80				

Tabla 8. Información descriptiva del cuestionario de Esfuerzo Cognitivo para cada actividad implementada.

		Estadísticos descriptivos				
		N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
E.C. Intrínseco Act1	Sin Aplicación basada en AR	2 7	1	7,8	4,5	1,964
	Con Aplicación basada en AR	5 3	1	8	5,39	1,884
E.C. Extrínseco Act1	Sin Aplicación basada en AR	2 7	1	7,8	3,08	1,94

	Con Aplicación basada en AR	5 3	1	8,3	3,83	2,016
E.C. Germánico Act1	Sin Aplicación basada en AR	2 7	4,6	10	7,07	1,286
	Con Aplicación basada en AR	5 3	3,2	10	7,22	1,655
E.C. Intrínseco Act2	Sin Aplicación basada en AR	2 7	1	7,8	4,41	2,098
	Con Aplicación basada en AR	5 3	1	8	5,104	2,087
E.C. Extrínseco Act2	Sin Aplicación basada en AR	2 7	1	8	3,704	1,817
	Con Aplicación basada en AR	5 3	1	9	4,27	2,261
E.C. Germánico Act2	Sin Aplicación basada en AR	2 7	4,3	10	7,37	1,543
	Con Aplicación basada en AR	5 3	3,3	10	7,51	1,611
E.C. Intrínseco Act3	Sin Aplicación basada en AR	2 7	1	8,5	4,84	1,885
	Con Aplicación basada en AR	5 3	1,5	8,5	5,382	2,078
E.C. Extrínseco Act3	Sin Aplicación basada en AR	2 7	1	6,8	3,82	1,671
	Con Aplicación basada en AR	5 3	1	8,8	4,46	2,14
E.C. Germánico Act3	Sin Aplicación basada en AR	2 7	4,4	10	7	1,381
	Con Aplicación basada en AR	5 3	3,2	10	7,27	1,587
N válido		8 0				

6.3. Pruebas para el Cumplimiento de los Supuestos del Análisis Multivariado.

Para evitar que las distorsiones y los posibles sesgos se hagan más potentes y también que la complejidad de los análisis lleve a enmascararlos, es importante hacer un análisis de los datos con fin de que cumplan los supuestos para la aplicación del análisis multivariado y tener unos resultados determinantes, dichos supuestos son Normalidad de los datos y Homogeneidad de las varianzas.

6.3.1. Prueba de Normalidad

Para realizar el análisis estadístico de Mancova, se deben realizar las correspondientes pruebas a las variables dependientes para el cumplimiento de los supuestos del análisis

multivariado; debido a que el número de observaciones de la variable independiente Sin Aplicación basada en AR es menor a 30, se aplica la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (Tabla 9) la cual muestra los valores de significancia superiores a 0,05 por lo cual, es un indicador que los datos se distribuyen bajo la curva de normalidad, a excepción de las variables E.C. Intrínseco y Extrínseco ($p= 0,01$), por lo cual se complementa el supuesto de normalidad con los coeficientes de asimetría y curtosis (Tabla 8), los cuales con un valor calculado que exceda $\pm 2,58$ indica que podemos rechazar el supuesto sobre la normalidad de la distribución a un nivel de probabilidad de 0,01 (Hair, 2006). De esta manera se confirma que todas las variables cumplen con el supuesto de normalidad.

Tabla 9. Pruebas de normalidad para las variables dependientes.

		Prueba de normalidad						
AR		Shapiro-Wilk			Asimetría		Curtosis	
		gl	Estadístico	Sig.	Estadístico	Error estándar	Estadístico	Error estándar
PostMSLQ	Sin Aplicación basada en AR	27	0,963	0,43	0,32	0,44	-0,66	0,87
	Con Aplicación basada en AR	53	0,98	0,51	0,15	0,32	-0,19	0,64
Logro Final	Sin Aplicación basada en AR	27	0,959	0,35	0,1	0,44	-0,001	0,87
	Con Aplicación basada en AR	53	0,972	0,24	0,22	0,32	-0,6	0,64
E.C. Intrínseco	Sin Aplicación basada en AR	27	0,929	0,06	-0,41	0,44	-1,03	0,87
	Con Aplicación basada en AR	53	0,94	0,01*	-0,49	0,32	-0,77	0,64
E.C. Extrínseco	Sin Aplicación basada en AR	27	0,964	0,46	0,4	0,44	-0,43	0,87
	Con Aplicación basada en AR	53	0,935	0,01*	0,6	0,32	-0,42	0,64
E.C. Germánico	Sin Aplicación basada en AR	27	0,956	0,29	0,33	0,44	-0,18	0,87
	Con Aplicación basada en AR	53	0,966	0,14	-0,51	0,32	0,18	0,64

* Variables que no se ajustan a la distribución normal

6.3.2. Homogeneidad de Varianzas.

El siguiente supuesto a cumplir es la homogeneidad de varianzas u homocedasticidad, para lo cual se aplica la prueba de Levene la cual evalúa si las varianzas de una única variable métrica son iguales a lo largo de cualquier cantidad de grupos (Hair, 2006). Valores de significancia menores a 0,05 se consideran críticos y se rechaza la hipótesis de igualdad de varianzas; los valores de significancia de las variables dependientes son mayores a 0,05 (Tabla 10), por lo cual cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

Prueba de Levene				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PostMSLQ	0,417	1	78	0,521
Logro Final	0,459	1	78	0,500
E.C. Intrínseco	0,017	1	78	0,896
E.C. Extrínseco	1,966	1	78	0,165
E.C. Germánico	2,557	1	78	0,114

6.3.3. Pruebas para los Supuestos de las Covariables

Con el fin de verificar que las covariables seleccionadas tengan robustez dentro del análisis multivariado, se procedió a realizar las pruebas que permiten seleccionar las covariables que tengan influencia dentro de análisis multivariado, las pruebas son Correlación entre las variables dependientes y sus respectivas covariables y la Correlación dentro de las covariables y la Homogeneidad de los planos de regresión.

Correlaciones. La correlación entre las variables dependientes y sus respectivas covariables deben ser mayores a 0,4, para que la covariable pueda seleccionarse como influyente dentro del análisis multivariado; en este caso las covariables Logro Inicial (0,492) y PreMSLQ (0,852) (Tabla 10) guardan una correlación con sus respectivas variables

dependientes Logro Final y PostMSLQ, de tal manera que las covariables pueden contribuir en la explicación del efecto de la variable independiente dentro de la investigación.

Tabla 11. Correlación de Pearson para las variables y covariables.

		Correlaciones			
		Logro Inicial	Logro Final	PreMSLQ	PostMSLQ
Logro Inicial	Correlación de Pearson	1			
Logro Final	Correlación de Pearson	0,492**	1		
PreMSLQ	Correlación de Pearson	0,246*	0,181	1	
PostMSLQ	Correlación de Pearson	0,235*	0,119	0,852**	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Por otra parte, la correlación dentro de las covariables debe ser inferior a 0,4 para que cada una de las covariables pueda explicar una parte del efecto la variable independiente, (Pituch & Stevens, 2015); de esta manera la correlación resultante del análisis (Tabla 11), muestra que las covariables PreMSLQ y Logro Inicial no tienen una correlación directa (0,246), por lo cual, las dos covariables seleccionadas son postulantes para hacer parte del análisis multivariado.

Análisis homogeneidad de los planos de regresión para las covariables. Para revisar este supuesto, se realizó un análisis multivariante con el diseño combinando la variable independiente con cada una de las covariables; el análisis arrojó un valor M de Box de 1,335 (F= 0,430; p= 0,731), (Tabla 12) cuyo valor de significancia es mayor a 0,05 por lo tanto, se acepta la hipótesis de igualdad de las covarianzas. Para comprobar el supuesto de la homogeneidad de los planos de regresión se tomó como referencia el valor significativo del estadístico de Lambda de Wilks.

Tabla 12 Prueba de Box de igualdad de matrices de covarianzas.

Prueba de Box de la igualdad de matrices de covarianzas^a	
M de Box	1,335
F	0,430
gl1	3
gl2	68564,035
Sig.	0,731

Prueba la hipótesis nula de que las matrices de covarianzas observadas de las variables dependientes son iguales entre los grupos.
a. Diseño: Intersección + AR * PreMSLQ + AR * Logro Inicial

Para comprobar la homogeneidad de los planos de regresión se revisará el valor significativo del estadístico de Lambda de Wilks para cada covariable (Tabla 13); el valor de significancia para la covariable PreMSLQ (F= 1,656; p= 0,000) es menor a 0,05, indicando que las covarianzas entre los grupos (AR) son distintas, por lo tanto, no cumple el supuesto de homogeneidad de los planos de regresión; el valor de significancia para la covariable Logro Inicial (F= 32,286; p= 0,167) es mayor a 0,05, indicando que las covarianzas entre los grupos (AR) son iguales, por lo tanto, si cumple el supuesto de homogeneidad de los planos de regresión; de esta manera se continuó con el análisis multivariante .

Tabla 13 Análisis de homogeneidad de los planos de regresión para las covariables.

Pruebas multivariante^a							
	Efecto	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Potencia observada ^d
Intersección	Traza de Pillai	0,213	10,014 ^b	2,000	74,000	0,000	0,982
	Lambda de Wilks	0,787	10,014^b	2,000	74,000	0,000	0,982
	Traza de Hotelling	0,271	10,014 ^b	2,000	74,000	0,000	0,982
	Raíz mayor de Roy	0,271	10,014 ^b	2,000	74,000	0,000	0,982
	Traza de Pillai	0,717	20,952	4,000	150,000	0,000	1,000
AR * PreMSLQ	Lambda de Wilks	0,285	32,286^b	4,000	148,000	0,000	1,000
	Traza de Hotelling	2,499	45,612	4,000	146,000	0,000	1,000
	Raíz mayor de Roy	2,496	93,613 ^c	2,000	75,000	0,000	1,000

	Traza de Pillai	0,084	1,641	4,000	150,000	0,167	0,496
AR *	Lambda de Wilks	0,916	1,656^b	4,000	148,000	0,163	0,500
Logro Inicial	Traza de Hotelling	0,091	1,670	4,000	146,000	0,160	0,503
	Raíz mayor de Roy	0,091	3,431 ^c	2,000	75,000	0,038	0,627

a. Diseño: Intersección + AR * PreMSLQ + AR * Logro Inicial

b. Estadístico exacto

c. El estadístico es un límite superior en F que genera un límite inferior en el nivel de significación.

d. Se ha calculado utilizando alpha = ,05

6.4. Análisis Multivariante General

Al realizar el análisis Mancova se obtuvo los siguientes resultados (Tabla 14); teniendo en cuenta el estadístico de Lambda de Wilks, la covariable PreMSLQ (F= 92,647; p= 0,000) al tener un valor significativo, es una covariable que está ayudando a explicar los efectos sobre las variables dependientes; la covariable Logro Inicial (F= 2,922; p= 0,060) tiene un valor superior a 0,05 por lo que esta covariable no está aportando a la explicación del efecto sobre las variables dependientes; finalmente la variable AR (F= 3,224; p= 0,045) tiene un valor significativo, por lo que es una variable que aporta a la explicación del efecto sobre las variables independientes.

Tabla 14. Análisis multivariante general.

Pruebas multivariante ^a						
	Efecto	Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Intersección	Traza de Pillai	0,226	10,932 ^b	2,000	75,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,774	10,932 ^b	2,000	75,000	0,000
	Traza de Hotelling	0,292	10,932 ^b	2,000	75,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	0,292	10,932 ^b	2,000	75,000	0,000
PreMSLQ	Traza de Pillai	0,712	92,647 ^b	2,000	75,000	0,000

	Lambda de Wilks	0,288	92,647^b	2,000	75,000	0,000*
	Traza de Hotelling	2,471	92,647 ^b	2,000	75,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	2,471	92,647 ^b	2,000	75,000	0,000
	Traza de Pillai	0,072	2,922 ^b	2,000	75,000	0,060
	Lambda de Wilks	0,928	2,922^b	2,000	75,000	0,060
Logro Inicial	Traza de Hotelling	0,078	2,922 ^b	2,000	75,000	0,060
	Raíz mayor de Roy	0,078	2,922 ^b	2,000	75,000	0,060
	Traza de Pillai	0,079	3,224 ^b	2,000	75,000	0,045
	Lambda de Wilks	0,921	3,224^b	2,000	75,000	0,045*
AR	Traza de Hotelling	0,086	3,224 ^b	2,000	75,000	0,045
	Raíz mayor de Roy	0,086	3,224 ^b	2,000	75,000	0,045

a. Diseño: Intersección + PreMSLQ + Logro Inicial + AR

b. Estadístico exacto

Los resultados de la prueba inter-sujetos (Tabla 15), mostró que la Aplicación basada en AR tiene efecto significativo sobre la variable Logro Final ($F= 6,451$; $p= 0,013$); pero no tiene efecto sobre la Motivación PostMSLQ ($F= 0,000$; $p= 0,996$).

Tabla 15. Análisis multivariante general.

Pruebas de efectos inter-sujetos						
	Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	PostMSLQ	14,216 ^a	3	4,739	67,369	0,000
	Logro Final	12,777 ^b	3	4,259	11,125	0,000
Intersección	PostMSLQ	0,975	1	0,975	13,860	0,000
	Logro Final	2,300	1	2,300	6,007	0,017
PreMSLQ	PostMSLQ	12,738	1	12,738	181,092	0,000*
	Logro Final	0,447	1	0,447	1,167	0,284
Logro Inicial	PostMSLQ	0,009	1	0,009	0,125	0,724
	Logro Final	2,121	1	2,121	5,540	0,021*
AR	PostMSLQ	1,482E-06	1	1,482E-06	0,000	0,996
	Logro Final	2,470	1	2,470	6,451	0,013*
Error	PostMSLQ	5,346	76	0,070		
	Logro Final	29,097	76	0,383		

Total	PostMSLQ	2101,350	80
	Logro Final	944,370	80
Total, corregido	PostMSLQ	19,562	79
	Logro Final	41,874	79

a. R al cuadrado = ,727 (R al cuadrado ajustada = ,716)

b. R al cuadrado = ,305 (R al cuadrado ajustada = ,278)

* Valores significativos

Los resultados obtenidos de las estimaciones para la variable Logro Final (Tabla 16), mostraron que hay una diferencia entre las medias de las categorías Sin Aplicación basada en AR (grupo control) y Con Aplicación basada en AR (grupo experimental) que es significativa de acuerdo con los resultados de la prueba inter-sujetos, de esta manera se evidenció que los estudiantes del grupo control obtuvieron un promedio más alto en el logro de aprendizaje en comparación con los estudiantes que se les aplicó la estrategia de AR.

Tabla 16. Estimaciones para la variable Logro Final.

AR	Estimaciones Logro Final				Intervalo de confianza al 95%	
	Media	Desv. Error	Diferencia de medias	Límite inferior	Límite superior	
Sin Aplicación basada en AR	3,666a	0,139	0,464*	3,388	3,943	
Con Aplicación basada en AR	3,202a	0,093	-0,464*	3,018	3,387	

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los valores siguientes: PREMSQL = 4,999, Logro Inicial = 2,355.

Los resultados obtenidos para la variable Motivación PostMSLQ (Tabla 17), mostraron que las dos categorías de la variable independiente guardan el mismo promedio, por lo cual el resultado de la prueba inter-sujetos no fue significativo, es decir que la Aplicación basada en AR no tuvo ningún efecto sobre la Motivación de los estudiantes.

Tabla 17. Estimaciones para la variable PostMSLQ.

Estimaciones Post MSLQ					
AR	Media	Desv. Error	Diferencia de medias	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Sin Aplicación basada en AR	5, 101a	0,060	0,000	4,983	5,220
Con Aplicación basada en AR	5, 101a	0,040	0,000	5,022	5,180

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los valores siguientes: PREMSQL = 4,999, Logro Inicial = 2,355.

El análisis multivariante para la variable Esfuerzo Cognitivo en sus tres tipos (Intrínseco, Extrínseco y Germánico), mostró valores superiores al límite de significancia (Tabla 18), de esta manera se puede decir que la estrategia de la Aplicación basada en AR no tuvo efectos significativos sobre la variable Esfuerzo Cognitivo en ninguno de sus tres tipos: E.C. Intrínseco ($F= 2,552$; $p= 0,114$) E.C. Extrínseco ($F= 2,087$; $p= 0,153$) y E.C. Germánico ($F= 0,320$; $p= 0,573$); se evaluó un análisis multivariante desglosando los tipos de Esfuerzo Cognitivo para cada una de la actividades implementadas en la investigación.

Tabla 18. Análisis multivariante general para el esfuerzo cognitivo.

Análisis multivariante						
Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	E.C. Intrínseco	9,381	1	9,381	2,552	0,114
	E.C. Extrínseco	7,732	1	7,732	2,087	0,153
	E.C. Germánico	0,644	1	0,644	0,320	0,573
Intersección	E.C. Intrínseco	1748,603	1	1748,603	475,779	0,000
	E.C. Extrínseco	1073,351	1	1073,351	289,717	0,000
	E.C. Germánico	3761,282	1	3761,282	1868,210	0,000
AR	E.C. Intrínseco	9,381	1	9,381	2,552	0,114
	E.C. Extrínseco	7,732	1	7,732	2,087	0,153
	E.C. Germánico	0,644	1	0,644	0,320	0,573

El análisis multivariante para la variable Esfuerzo Cognitivo en sus tres tipos (Intrínseco, Extrínseco y Germánico) y para cada una de las actividades implementadas en la investigación, también mostró valores superiores al límite de significancia (Tabla 19),:

Actividad 1: E.C. Intrínseco Act 1 (F= 3,89; p= 0,052) E.C. Extrínseco Act 1 (F= 2,549; p= 0,114) y E.C. Germánico Act 1 (F= 0,166; p= 0,685); Actividad 2: E.C. Intrínseco Act 2 (F= 1,931; p= 0,169) E.C. Extrínseco Act 2 (F= 1,31; p= 0,256) y E.C. Germánico Act 2 (F= 0,146; p= 0,703); finalmente, Actividad 3: E.C. Intrínseco Act 3 (F= 1,281; p= 0,261) E.C. Extrínseco Act 3 (F= 1,872; p= 0,175) y E.C. Germánico Act 3 (F= 0,602; p= 0,44); de esta manera se demostró que para esta investigación, la estrategia de la Aplicación basada en AR no tuvo efectos significativos sobre la variable Esfuerzo Cognitivo en ninguno de sus tres tipos, ni en las respectivas actividades implementadas en la investigación

Tabla 19. Análisis multivariante general para el esfuerzo cognitivo segregándolo en sus tipos y momentos de implementación.

Análisis multivariante						
Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	E.C. Intrínseco Act 1	14,217	1	14,217	3,89	0,052
	E.C. Extrínseco Act 1	10,104	1	10,104	2,549	0,114
	E.C. Germánico Act 1	0,395	1	0,395	0,166	0,685
	E.C. Intrínseco Act 2	8,445	1	8,445	1,931	0,169
	E.C. Extrínseco Act 2	5,906	1	5,906	1,31	0,256
	E.C. Germánico Act 2	0,37	1	0,37	0,146	0,703
	E.C. Intrínseco Act 3	5,206	1	5,206	1,281	0,261
	E.C. Extrínseco Act 3	7,458	1	7,458	1,872	0,175
	E.C. Germánico Act 3	1,395	1	1,395	0,602	0,44
Intersección	E.C. Intrínseco Act 1	1750,148	1	1750,148	478,881	0

	E.C. Extrínseco Act 1	856,132	1	856,132	215,941	0
	E.C. Germánico Act 1	3656,135	1	3656,135	1537,312	0
	E.C. Intrínseco Act 2	1621,301	1	1621,301	370,66	0
	E.C. Extrínseco Act 2	1139,656	1	1139,656	252,744	0
	E.C. Germánico Act 2	3962,957	1	3962,957	1569,303	0
	E.C. Intrínseco Act 3	1870,028	1	1870,028	459,997	0
	E.C. Extrínseco Act 3	1229,346	1	1229,346	308,501	0
	E.C. Germánico Act 3	3647,205	1	3647,205	1575,317	0
	E.C. Intrínseco Act 1	14,217	1	14,217	3,89	0,052
	E.C. Extrínseco Act 1	10,104	1	10,104	2,549	0,114
	E.C. Germánico Act 1	0,395	1	0,395	0,166	0,685
	E.C. Intrínseco Act 2	8,445	1	8,445	1,931	0,169
AR	E.C. Extrínseco Act 2	5,906	1	5,906	1,31	0,256
	E.C. Germánico Act 2	0,37	1	0,37	0,146	0,703
	E.C. Intrínseco Act 3	5,206	1	5,206	1,281	0,261
	E.C. Extrínseco Act 3	7,458	1	7,458	1,872	0,175
	E.C. Germánico Act 3	1,395	1	1,395	0,602	0,44

7. Discusión y Conclusiones

Se realizó un diseño cuasi experimental con el fin de establecer los efectos de la estrategia didáctica basada en realidad aumentada diseñada para esta investigación sobre el logro de aprendizaje del tema de genética mendeliana, la motivación y el esfuerzo cognitivo de los estudiantes del grado 9° del colegio Calasanz de Bogotá.

Los resultados de esta investigación muestran que no hubo diferencias significativas entre los grupos en los que se aplicó la estrategia didáctica basada en AR en las variables de motivación y esfuerzo cognitivo. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre los grupos en el logro de aprendizaje, obteniendo un promedio mayor en el grupo de estudiantes que usó la cartilla en comparación con el grupo de estudiantes que usó la estrategia didáctica basada en AR; sin dejar de lado que, la estrategia didáctica basada en AR desarrollada tiene potencial y puede aportar significativamente en futuras implementaciones a la comprensión de conceptos de genética clásica.

7.1. Evaluación de las covariables

La selección de las covariables usadas para el análisis estadístico (PreMSLQ y Logro Inicial) y su respectiva comprobación para comprobar el efecto sobre las variables dependientes; los estadísticos de correlación y de homogeneidad de los planos de regresión mostraron que las covariables tendrían un efecto sobre las variables dependientes; el estadístico de Lambda de Wilks del análisis multivariante determinó que la covariable de motivación inicial (PreMSLQ) aportó en la explicación de la variación de las variables dependientes, mientras que la covariable de Logro inicial no contribuyó a explicar dicha variación de las variables.

7.2. Logro de Aprendizaje y AR

El análisis MANCOVA determinó una diferencia significativa entre los grupos Sin Aplicación basada en AR y Con Aplicación basada en AR ($F= 6,451$; $p= 0,013$), con una media a favor del grupo control ($M= 0,464$) según los resultados obtenidos en las tablas 15 y 16 de la presente investigación, mostrando así, que la aplicación de Realidad Aumentada no favoreció el logro de aprendizaje.

Estos resultados contrastan con los hallazgos de Erbas & Demirer, (2019), Hung et al., (2017) y Thees et al., (2020) con relación a la implementación de aplicativos en AR y el logro de aprendizaje. En estos estudios, se evidenció que la intervención de aplicativos basados en AR no afecta el logro de aprendizaje, ya que se obtuvieron resultados similares para los grupos control y experimental. Sin embargo, en la presente investigación, se evidencia que los estudiantes que trabajaron con la aplicación basada en AR tuvieron menor rendimiento, esto también puede ser explicado entre otras cosas por el limitado tiempo que se empleó para la explicación del uso de la aplicación y para el desarrollo de las actividades, debido a que los grupos experimentales tuvieron que aprender a usar la aplicación, esto redujo el tiempo que se dedicó al desarrollo de las actividades planteadas en las cartillas, teniendo en cuenta que para todos los cursos el tiempo de clase dedicado fue de 8 horas distribuidas en 4 semanas. Adicionalmente, no se controló la variable de los estudiantes que asistían de forma remota, puesto que se encontraban en rotación constante.

7.3. Motivación y AR

El análisis MANCOVA no identificó diferencias significativas entre los grupos experimentales y el grupo control para la variable Motivación ($F= 0,000$; $p= 0,996$), además se observó que la covariable de la motivación inicial contribuyó en la explicación de la variable dependiente de motivación final, con lo cual, aunque el grupo control presentó una

motivación final más alta que los grupos experimentales, este grupo partió con una motivación más alta. En todos los grupos se observó un incremento de la motivación al comparar la motivación inicial y la final. Esta situación se puede explicar debido a que ambos grupos trabajaron con un material que contenía personajes fantásticos y que adicionalmente se diseñó para ser atractivo como lo fue la cartilla. Lo que es congruente con lo que postula Íñiguez & Puigcerver (2013), quienes aseguran que el uso de materiales atractivos y la introducción de personajes fantásticos con características de fácil estudio, aumenta el interés de los estudiantes hacia las actividades realizadas. Sin embargo y como ya se mencionó, este aumento no fue significativo y no representa ninguna relación con la implementación de la estrategia didáctica empleada.

Un aspecto que pudo haber influido en estos resultados, fue la condición de alternancia en la que se encontraban los estudiantes, debido a que todos los estudiantes en algún momento de la implementación asistieron de forma remota, no se logró acompañar el proceso de la mejor manera posible.

7.4. Esfuerzo Cognitivo y AR

En cuanto a la relación entre la aplicación de una estrategia didáctica basada en AR y los diferentes tipos de esfuerzo cognitivo, se mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas en la interacción de estas dos variables como lo muestran los resultados obtenidos en las tablas 18 y 19 en el análisis multivariante general para el esfuerzo cognitivo. Sin embargo, en los resultados se puede evidenciar que el esfuerzo cognitivo extrínseco tuvo el promedio más bajo de todos los tipos de esfuerzo cognitivo para los dos grupos, esto se traduce en que los estudiantes hicieron un esfuerzo menor al momento de procesar el material educativo y las instrucciones de las actividades (Küçük et al., 2016; Sweller, 2010; Sweller et al., 2019; Thees et al., 2020; Yang et al., 2021). De esta forma, se

puede suponer que el uso del material complementario, en este caso la cartilla, la cual fue aplicada en los dos grupos, contribuyó a disminuir el esfuerzo cognitivo de tipo extrínseco, de esta forma puede relacionarse la forma de presentar las actividades a los estudiantes y el lenguaje usado en cada una de estas, con los resultados obtenidos.

Por otra parte, tanto para el grupo control como para los grupos experimentales, el tipo de esfuerzo cognitivo más alto fue el germánico. De acuerdo con Sweller (2010), cuando los niveles de motivación son constantes, como es el caso del presente estudio, el estudiante no tiene control sobre el esfuerzo cognitivo germánico. De esta forma si el E.C. intrínseco es alto mientras el E.C. extrínseco es bajo, el E.C. germánico será alto debido a que el estudiante deberá destinar una mayor proporción de los recursos de la memoria de trabajo para procesar los materiales de aprendizaje esenciales. De esta forma se puede deducir que, el grupo experimental dedicó más recursos de su memoria de trabajo al aprendizaje y pocos recursos a los elementos extrínsecos impuestos por el procedimiento de instrucción, dado que, el E.C. intrínseco y germánico son más altos en todos los casos en el grupo experimental. De esta forma, aunque los resultados no son concluyentes, debido a su significancia, se puede establecer una pequeña relación que muestra el potencial del uso de GeneticAR para facilitar el aprendizaje de conceptos de genética clásica y disminuir el E.C. extrínseco.

7.5. Aplicación móvil basada en los principios de la AR

Es importante resaltar que las interacciones dadas entre el material diseñado en la investigación, cartilla didáctica & aplicación móvil y los estudiantes estuvieron favorecidas por el uso de los principios de la realidad aumentada. De este modo, el uso de dispositivos móviles permitió que los estudiantes de grado noveno interactuaran con una tecnología que les dejó superponer elementos virtuales, personajes fantásticos sobre su visión de la realidad, permitiendo así que la imaginación de los estudiantes los lleve a mundos microscópicos,

imperceptibles a nuestra vista, situación que desde la educación tradicional no es fácil de ejecutar; de esta forma, la aplicación móvil pretendía dar mejores resultados de aprendizaje a lo largo del curso de ciencias naturales; dicha interacción pudo ayudar no solo a los estudiantes, sino también al docente a cambiar elementos tradicionales de la educación, tales como, libros, guías de trabajo, uso del tablero y clases magistrales, que en su lugar, fueron reemplazados por herramientas tecnológicas, que a su vez, permitieron la inmersión sensorial, donde los estudiantes pusieron en marcha algunos sentidos y, capacidad de reacción frente los resultados de cada cruce de las parejas de los personajes, situación propia de la AR, que, devuelve el valor a los sentidos y se aparta de un conocimiento abstracto y plano. En este sentido, los elementos sensoriales y la interacción dada por esta herramienta potenciarían la inteligencia espacial, la cual mejora la capacidad de imaginar, visualizar y distinguir entre distintos objetos de 3D y 2D haciendo uso de los modelos presentados.

8. Limitaciones y Proyecciones

8.1. Limitaciones

Las limitaciones que se presentaron en el desarrollo de la investigación pueden ayudar a mejorar la interpretación de los resultados y la validación de nuevos estudios en torno a los temas como, el uso de ambientes de aprendizaje que incluyan estrategias didácticas tales como, la realidad aumentada, los videos juegos, la gamificación, entre otros; como primera limitación encontramos que, todas las actividades propuestas en la investigación bajo el tema de genética mendeliana, se aplicaron de forma mixta, es decir, por la modalidad de alternancia en la que se encontraba el colegio, algunos estudiantes hicieron parte de la investigación de manera virtual y otros de manera presencial, lo que pudo generar impactos en los resultados sobre las tres variables analizadas: *motivación*, debido a que, los estudiantes que estuvieron en casa no contaban con las mismas herramientas (tabletas que proporcionó el colegio) con las cuales si contaron los estudiantes que estuvieron presencialmente en el colegio; *esfuerzo cognitivo*, el uso de la cartilla didáctica y el acompañamiento dado a los estudiantes generó impacto sobre los resultados, debido a que los estudiantes de presencialidad se les entregó impresa la cartilla y la pudieron manipular de manea constante y en coordinación con la aplicación basada en realidad aumentada, mientras que los estudiantes virtuales, tuvieron acceso a este material solo de manera digital y debían descargar el APK de la aplicación en sus dispositivos móviles y, sobre el *logro de aprendizaje*, se generó un impacto, ya que, las condiciones de acompañamiento, y las herramientas usadas, así como atención puesta varía entre los estudiantes de virtualidad y presencialidad, de este modo pudo afectar los resultados en esta variable.

En segunda instancia, aspectos como la conectividad de los estudiantes generó una incidencia en la continuidad de la presentación de las actividades, pues lo estudiantes no

estaban obligados a permanecer durante las sesiones de clases al realizarse cada una de las actividades, sino que las podían realizar de manera independiente y sin estar presente en la misma.

Finalmente, se debe considerar que los instrumentos MSLQ y Test de esfuerzo cognitivo de Leppink que, aunque presentan una alta fiabilidad, al ser cuestionarios de autoreporte, pueden suponer respuestas subjetivas o socialmente aceptadas, lo que podría variar los resultados obtenidos en la población objeto de estudio.

8.2. Proyecciones

Con miras a fortalecer el proceso de enseñanza y de desarrollo de habilidades científicas a través de la integración de las TIC, especialmente empleando estrategias didácticas basadas en los principios de la realidad aumentada en ambientes de aprendizaje que en su diseño tengan como centro del proceso al estudiante, se generan las siguientes recomendaciones, tanto para futuras investigaciones sobre la comprensión de la genética, como para nuevas implementaciones que empleen la modalidad de aplicación móviles educativas.

Incorporar en las plataformas virtuales o ambientes de aprendizajes, recursos variados que respondan a los diferentes estilos y ritmos de aprendizaje de los estudiantes, por ejemplo, diferentes materiales educativos digitales, animaciones, videos, imágenes, textos con audio, juegos interactivos, o vínculos a páginas web externas, que guíen y expliquen las temáticas a desarrollarse, de tal forma que, el esfuerzo cognitivo extrínseco realizado por parte de los estudiantes sea bajo, y favorezca el esfuerzo cognitivo intrínseco o germánico, los cuales permitirán mejores resultados medidos a través del logro de aprendizaje u otros instrumentos, como lo muestran los resultados de la presente investigación a través del uso de la cartilla didáctica en el grupo control.

En cuanto al número de estudiantes que participaron en la investigación, se debe indicar que, contar con la posibilidad de tener un grupo muestral más extenso permitiría obtener una data más amplia que proporcionaría mayor información para analizar; de este modo, aplicar la investigación en poblaciones con diferentes estratos socio-económicos ayudaría a realizar una comparación que permita indagar sobre cómo se puede mejorar el logro de aprendizaje y la motivación a través del uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación.

Se recomienda tener en cuenta, al momento de implementar un ambiente de modalidad B-learning, una aplicación móvil o cualquier recurso educativo de tipo tecnológico, hacer un adecuado proceso de inducción, en el que se brinde a los estudiantes la capacitación en el uso de herramientas tecnológicas, la posibilidad de familiarizarse con la plataforma de aprendizaje que se va a emplear, sus aplicaciones y recursos; así como, el proceso de descarga de la aplicación o el ingreso del estudiante a la plataforma desde su lugar de residencia o desde sus propios computadores o celulares, todo ello antes de comenzar las implementaciones de la investigación.

Por último, se recomienda implementar la presente investigación en condiciones de virtualidad o presencialidad al 100% con el ánimo de comparar los resultados entre las dos modalidades.

9. Referencias

Akçayir, M., Akçayir, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, *57*, 334–342.

<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>

Annetta, L. A., Minogue, J., Holmes, S. Y., & Cheng, M. T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Computers and Education*, *53*(1), 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.12.020>

Ayuso, G. E., & Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de La genética en educación secundaria. *Enseñanza De Las Ciencias*, *20*(1), 133–157. <https://doi.org/doi:10.1214/10-sts351>

Azuma, R. T. (1997). A survey of Augmented Reality. *Presence*, *6*(4), 355–385. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2009.03.056>

Benítez, R. A. (1849). La enseñanza de la genética en el grado noveno de básica secundaria: una propuesta didáctica a la luz de constructivismo. *The Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)74651-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)74651-5)

Briceño, E. A. (2014). Propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en grado octavo en la institución educativa distrital Manuelita Sáenz. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/48671/>

Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de Secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Investigación Didáctica*, *26*(2), 227–244.

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>

Chen, Y.-C. (2006). A study of comparing the use of augmented reality and physical models in chemistry education. *Proceedings of the 2006 ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications - VRCIA '06*, 1(June), 369. <https://doi.org/10.1145/1128923.1128990>

Cho, H. -H, Kahle, J. B., & Nordland, F. H. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, 69(5), 707–719. <https://doi.org/10.1002/sce.3730690512>

Conde, J., & Bernal, J. (2017). La pregunta como estrategia didáctica para el aprendizaje significativo del concepto herencia biológica, en estudiantes de grado octavo. *Revista Bio-grafía Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 10(19), 330-340.

Diegmann, P., Schmidt-Kraepelin, M., Eynden, S. Van Den, & Basten, D. (2015). Benefits of Augmented Reality in Educational Environments – A Systematic Literature Review. In *12th International Conference on Wirtschaftsinformatik (Vol. 3, pp. 1542–1556)*.

Erbas, C., & Demirer, V. (2019). The effects of augmented reality on students' academic achievement and motivation in a biology course. *Journal of Computer Assisted Learning*, 1–9. <https://doi.org/10.1111/jcal.12350>

Flores Camacho, F., García Rivera, B., Báez Islas, A., Gallegos Cázares, L., & Calderón Canales, Elena. (2020). Logros en la comprensión de temas de genética utilizando

representaciones externas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 17(3).

https://doi.org/10.25267/REV_EUREKA_ENSEN_DIVULG_CIENC.2020V17.I3.3101

Garrido-Navas, M. C., & González-García, F. (2017). La genética en los textos de estudio de la Educación Secundaria Obligatoria: ¿se hace caso a la investigación didáctica?. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 1255-1260.

Georgiou, Y., & Kyza, E. A. (2018). Relations between student motivation, immersion and learning outcomes in location-based augmented reality settings. *Computers in Human Behavior*, 89, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.08.011>

González, C. R., Banet, E., & Banet, L. L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(3), 550–569. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.04

Gopalan, V., Bakar, J. A. A., & Zulkifli, A. N. (2017). A brief review of augmented reality science learning. *AIP Conference Proceedings*, 1891. <https://doi.org/10.1063/1.5005377>

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2007). *Multivariate data analysis* (Spanish edition). Iberia: Prentice Hall.

Huitema, B. E. (1980). *The analysis of covariance and alternatives*. New York: John Wiley.

Hung, Y. H., Chen, C. H., & Huang, S. W. (2017). Applying augmented reality to enhance learning: a study of different teaching materials. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(3), 252–266. <https://doi.org/10.1111/jcal.12173>

Hwang, G. J., Wu, P. H., Chen, C. C., & Tu, N. T. (2016). Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations. *Interactive Learning Environments*, 24(8), 1895–1906. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1057747>

Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Delgado Kloos, C. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers and Education*, 71, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.004>

Íñiguez Porras, F. J., & Puigcerver Oliván, M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 10(3), 307–327. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i3.02

Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9150-7>

Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., & Woolard, A. (2006). “Making it real”: Exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10(3–4), 163–174. <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0036-4>

Khan Academy. (s.f.). Mendel y sus guisantes. Obtenido de Khan Academy:
<https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/heredity/mendelian-genetics-ap/a/mendel-and-his-peas>

Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano, J. R. (2018). From Cognitive Load Theory to Collaborative Cognitive Load Theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 13(2), 213–233.
<https://doi.org/10.1007/s11412-018-9277-y>

Klopfer, E. (2008). *Augmented Learning: Research and Design of Mobile Educational Games* (1st ed.). Londres Inglaterra: The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262113151.001.0001>

Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 203–228. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9037-6>

Küçük, S., Kapakin, S., & Göktaş, Y. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411–421. <https://doi.org/10.1002/ase.1603>

Leppink, J., & van den Heuvel, A. (2015). The evolution of cognitive load theory and its application to medical education. *Perspectives on Medical Education*, 4(3), 119–127.
<https://doi.org/10.1007/s40037-015-0192-x>

Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1058–1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>

Leppink, J., Paas, F., van Gog, T., van der Vleuten, C. P. M., & van Merriënboer, J. J. G. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learning and Instruction*, 30, 32–42.

<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.12.001>

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *SPIE Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, 282–292.

Mojica, P. E. (2014). Propuesta didáctica para la enseñanza de la genética mendeliana centrada en el aprendizaje basado en problemas en grado noveno a través de un ambiente virtual de aprendizaje. Universidad Pedagógica Nacional.

Muñoz, L. & Montenegro, R. (2018). Uso de la realidad aumentada en la enseñanza-aprendizaje de ciencias naturales. *Revista Ingeniería Solidaria*, vol. 14, no. 24, pp. 9.

<https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2155>

Núñez, M., Quirós, R., Núñez, I., Carda, J., & Camahort, E. (2008). Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. *5TH WSEAS/IASME International Conference on Engineering Education*, 271–277. <https://doi.org/10.4018/978-1-61692-822-3.ch020>

Ortiz Benavides, F. L., & Piña López, C. E. (2018). Estrategia tecno-didáctica para la solución de problemas de genética en estudiantes de educación a distancia. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 15(2), 2301.

https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2301

Pituch, K. A., & Stevens, J. P. (2015). *Applied multivariate statistics for the social sciences: Analyses with SAS and IBM's SPSS*. Routledge.

Reisoğlu, I., Topu, B., Yılmaz, R., Karakuş Yılmaz, T., & Göktaş, Y. (2017). 3D virtual learning environments in education: a meta-review. *Asia Pacific Education Review*, 18(1), 81–100. <https://doi.org/10.1007/s12564-016-9467-0>

Salmi, H., Thuneberg, H., & Vainikainen, M. P. (2017). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 7(3), 253–268. <https://doi.org/10.1080/21548455.2016.1254358>

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)

Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>

Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers and Education*, 62, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>

Yang, Y., Cai, S., Wen, Y., Li, J., & Jiao, X. (2021). AR learning environment integrated with EIA inquiry model: Enhancing scientific literacy and reducing cognitive load of students. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212787>

Yuen, S. C.-Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1). <https://doi.org/10.18785/jetde.0401.10>

Anexos

Anexo 1. Consentimiento informado



ICCE-NAZARET
INSTITUTO CALASANZ
DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Coordinación de Formación
e Investigación

Consentimiento informado

Yo, _____ identificado(a) con cédula de ciudadanía número _____, expedida en _____ doy mi libre consentimiento para que mi hijo (a) _____ identificado (a) con documento de identidad número _____ participe en proyecto de investigación titulado. **Efecto de una Estrategia Didáctica Basada en Realidad Aumentada en el Logro de Aprendizaje de Genética Mendeliana, la Motivación y el Esfuerzo Cognitivo de Estudiantes de Grado Noveno**, en el cual se emplearán formatos de autorreporte de motivación (MSLQ) y de esfuerzo cognitivo, además se recolectará información relacionada con el logro académico (calificación) en la asignatura de biología, con el objetivo de analizar el impacto de una estrategia didáctica basada en Realidad Aumentada en la comprensión de los contenidos de genética mendeliana de los estudiantes de grado 9° del Colegio Calasanz Bogotá.

Por tal motivo, doy fe de que me fueron explicados los objetivos y propósitos del proyecto, siendo una estrategia orientada por profesionales de la educación. Ante cualquier duda o sugerencia que tenga puede comunicarse al correo electrónico: icceformacion@escolapios.org.co

Para finalizar, declaro que he sido informado(a) de lo consignado en los siguientes puntos:

- A. La participación en el proceso tiene un carácter voluntario.
- B. La finalidad de este ejercicio es realizar un proceso de recolección de información cuyo uso será netamente académico.
- C. El proceso no interferirá con el desarrollo del proceso educativo de mi hijo en la institución educativa.
- D. Los procedimientos que serán aplicados no implicarán ningún riesgo físico o psicológico para mi hijo(a).
- E. La participación en este proceso no representa ningún gasto de mi parte, así como tampoco algún tipo de remuneración económica.
- F. Los datos personales de mi hijo(a) serán regulados por la política de protección de datos de la Provincia Nazaret – Padres Escolapios y la Política de Protección de Infancia y Adolescencia, guardándose la confidencialidad pertinente.
- G. Se da la garantía de que mi hijo(a), a través de mi representación legal, pueda retirarse libremente y en cualquier momento, y sin ninguna consecuencia, en caso de considerarse necesario.
- H. Conforme a lo anterior, declaro que entendí y estoy de acuerdo.

Firma: _____

Fecha: _____

Anexo 2. Test de Autorreporte de Leppink, et, al., (2014) traducido al español.



Cuestionario de autorreporte para medir el esfuerzo cognitivo.

* Required

Cuestionario de autorreporte de medición de esfuerzo cognitivo

Todas las siguientes preguntas se refieren a la actividad que acaba de terminar sobre genética mendeliana. Por favor, responde a cada una de las preguntas en la siguiente escala (0 significa que no es en absoluto el caso y 10 significa que es completamente el caso). Agradecemos tu tiempo y colaboración.

1. Nombre completo *

2. Curso *

- 9° A
 9° B
 9° C

3. El contenido de esta actividad era muy complejo. *

- 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. El/los problema/s tratado/s en esta actividad era/n muy complejo/s. *

- 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

5. En esta actividad se mencionaron términos muy complejos. *

- 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

6. He invertido un esfuerzo mental muy alto en la complejidad de esta actividad. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

7. Las explicaciones e instrucciones de esta actividad eran muy poco claras. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

8. Las explicaciones e instrucciones de esta actividad tenían un lenguaje poco claro. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

9. Las explicaciones e instrucciones de esta actividad fueron, en términos de aprendizaje, muy ineficaces. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10. He invertido un esfuerzo mental muy alto en las explicaciones e instrucciones poco claras e ineficaces en esta actividad. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

11. Esta actividad realmente mejoró mi comprensión del contenido que se trató. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

12. Esta actividad mejoró realmente mi comprensión de los problemas que se trataron. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

13. Esta actividad ha mejorado mi conocimiento de los términos mencionados. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

14. Esta actividad ha mejorado mis conocimientos y mi comprensión de cómo tratar el/los problema/s tratado/s. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

15. He realizado un gran esfuerzo mental durante esta actividad para mejorar mis conocimientos y comprensión. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.

 Microsoft Forms

Anexo 3. Test de motivación



Cuestionario de Motivación - MSLQ

Este cuestionario mide la motivación que usted presenta frente al proceso académico del área de biología.

Para nosotras es muy importante que responda de manera honesta cada una de las siguientes afirmaciones.

Agradecemos su participación y colaboración

* Required

1. Nombre completo *

2. Edad *

Number must be between 10 ~ 18

3. Género *

Masculino

Femenino

4. Curso *

9° A

9° B

9° C

5. Responda las siguientes afirmaciones basado (a) en su experiencia como estudiante en la asignatura de Biología.

Si usted piensa que está **absolutamente de acuerdo** con la afirmación **seleccione 7**.
 Si está **completamente en desacuerdo** con la afirmación **seleccione 1**.

Si la afirmación **es más o menos verdadera seleccione un número entre 2 y 6**, el cual exprese su grado de conformidad.

*

	Completamente en desacuerdo o	Muy en desacuerdo o	En desacuerdo o	Ni de acuerdo ni en desacuerdo o	De acuerdo o	Muy de acuerdo o	Absolutamente de acuerdo. o
Prefiero que los temas de esta asignatura realmente me desafíen para poder aprender cosas nuevas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Si estudio de la forma adecuada aprenderé los temas de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuando presento una evaluación pienso que lo estoy haciendo mal en comparación con mis compañeros.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pienso que lo que aprendo en esta asignatura lo podré usar en otras.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Creo que obtendré una nota excelente en esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estoy seguro de que puedo entender las lecturas más difíciles de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Completamente en desacuerdo	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo	Absolutamente de acuerdo.
Obtener una buena nota en esta asignatura es lo más satisfactorio para mí en este momento.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuando presento una evaluación pienso en las otras partes de la prueba que no puedo responder.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es por mi culpa si no aprendo los contenidos de este curso.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es importante para mí, aprender los contenidos de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lo más importante para mí es mejorar mi promedio acumulado, entonces es fundamental obtener una buena nota en esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estoy seguro que puedo aprender los conceptos básicos que me enseñen en esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quiero obtener mejores notas en esta asignatura que la mayoría de mis compañeros de clase.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuando presento una evaluación pienso en las consecuencias de que obtenga una nota baja.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Completamente en desacuerdo	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo	Absolutamente de acuerdo.
Estoy seguro de que puedo entender los temas más complejos que presente el profesor en esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Prefiero que los temas de esta asignatura despierten mi curiosidad aun cuando sean difíciles de aprender.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estoy muy interesado en la temática general de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Si me esfuerzo lo suficiente, comprenderé los contenidos de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tengo una sensación de nerviosismo y malestar cada vez que presento una evaluación.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estoy seguro que puedo obtener una calificación excelente en los trabajos y evaluaciones de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Responda las siguientes afirmaciones basado (a) en su experiencia como estudiante en la asignatura de Biología.

Si usted piensa que está **absolutamente de acuerdo** con la afirmación **seleccione 7**, si está **completamente en desacuerdo** con la afirmación **seleccione 1**.

Si la afirmación **es más o menos verdadera seleccione un número entre 2 y 6**, el cual exprese su grado de conformidad.

*

	Completa mente en desacuerd o	Muy en desacuerd o	En desacuerd o	Ni de acuerdo ni en desacuerd o	De acuerdo	Muy de acuerdo	Absolutam ente de acuerdo.
Espero hacer las cosas bien en esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lo más satisfactorio para mi es intentar entender los contenidos de esta asignatura tan profundamente como sea posible.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pienso que los contenidos de esta asignatura son útiles para mí.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuando me dan la oportunidad, prefiero escoger las actividades con las que puedo aprender, aun cuando ponga en riesgo obtener una buena nota.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Si no comprendo los contenidos del curso, es porque no me esforcé lo suficiente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me gustan los contenidos de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Completamente en desacuerdo	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo	Absolutamente de acuerdo.
Es importante para mí entender los contenidos de esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Siento que mi corazón late más rápidamente cuando presento una evaluación.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estoy seguro que puedo dominar las habilidades que se enseñan en esta asignatura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me preocupo por hacer las cosas bien en esta asignatura, porque es importante para mí mostrar mis habilidades a mi familia, amigos, profesores y la gente en general.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Considerando lo difícil que es este curso, el profesor y mis habilidades, pienso que me irá bien en esta asignatura,	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>