



# Comprensión de la genética apoyada con realidad aumentada en jóvenes de educación básica\*

Leidy Martínez-Ibáñez<sup>a</sup> ■ Natalia Gutiérrez-Reyes<sup>b</sup> ■ Óscar Jardey Suárez<sup>c</sup>

**Resumen:** El año 2022 estuvo marcado, en la mayoría de los sectores, por el inicio del proceso post-pandemia por la COVID-19. El sistema educativo, específicamente la educación básica y media en los colegios públicos en Bogotá, Colombia, no fue ajeno a este fenómeno que implicó un experimento forzado en la educación, mediada por las tecnologías de la información en la comunicación, en el que muchas personas quedaron aisladas parcial o totalmente. Lo anterior, demandó del profesorado estrategias creativas que propendieran por el regreso del estudiantado a la nueva normalidad, por lo que la realidad aumentada emergió como una tecnología en este sentido. Esto implicó analizar la comprensión de conceptos relacionados con la genética clásica, a partir de un formulario KPSI (Knowledge and Prior Study Inventory), diligenciado antes y después de una secuencia didáctica, fundamentada en el aprendizaje basado en problemas y la realidad aumentada. El enfoque es principalmente cuantitativo, apoyado en pruebas de hipótesis. Participaron 26 jóvenes de un colegio público en Bogotá, Colombia. Se validó la secuencia didáctica y la prueba KPSI por mínimo 9 jueces. Tanto para la secuencia didáctica como para la prueba KPSI, el índice de Aiken es 0,95. Existe una ganancia estadísticamente significativa en la comprensión de los conceptos de la genética clásica. A juicio del estudiantado, la inclusión de la realidad aumentada posibilita estar activos en el proceso de enseñanza aprendizaje, y tecnologías, como la realidad aumentada, permiten la articulación con pedagogías activas en pro de facilitar la comprensión de los tópicos de ciencias, como el estudio de la genética clásica.

**Palabras clave:** enseñanza de la genética clásica; realidad aumentada; secuencia didáctica; metodologías activas; aprendizaje basado en problemas

---

\* Artículo de investigación.

**a** Magíster en Educación en Tecnología. Secretaría de Educación de Bogotá, Bogotá, D. C., Colombia. Correo electrónico: [leidymartinezi@gmail.com](mailto:leidymartinezi@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8989-5079>

**b** Magíster en Educación en Tecnología. Secretaría de Educación de Bogotá, Bogotá, D. C., Colombia. Correo electrónico: [natagutierrezr85@gmail.com](mailto:natagutierrezr85@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6902-7143>

**c** Doctor en Ciencias, doctor en Educación. Universidad de Nariño, Nariño, Colombia. Correo electrónico: [oj Suarez@udenar.edu.co](mailto:oj Suarez@udenar.edu.co); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8780-595X>

**Recibido:** 26/09/2023 **Aceptado:** 29/02/2024 **Disponible en línea:** 25/04/2024

**Cómo citar:** Martínez Ibañez, L., Gutiérrez Reyes, N., & Suárez, O. J. (2024). Comprensión de la genética apoyada con realidad aumentada en jóvenes de educación básica. *Academia Y Virtualidad*, 17(1), 99–115. <https://doi.org/10.18359/ravi.6953>

## *Understanding Genetics Supported by Augmented Reality in Basic Education Youth*

**Abstract:** The year 2022 was marked, in most sectors, by the beginning of the post-pandemic process due to COVID-19. The educational system, specifically basic and secondary education in public schools in Bogotá, Colombia, was not unaffected by this phenomenon, which involved a forced experiment in education mediated by information technologies in communication, leaving many people partially or totally isolated. This demanded creative strategies from teachers to promote the return of students to the new normality, thus augmented reality emerged as a technology in this regard. This involved analyzing the understanding of concepts related to classical genetics, based on a KPSI form (Knowledge and Prior Study Inventory), filled out before and after a didactic sequence, based on problem-based learning and augmented reality. The approach is mainly quantitative, supported by hypothesis testing. 26 young people from a public school in Bogotá, Colombia, participated. The didactic sequence and the KPSI test were validated by at least 9 judges. Both for the didactic sequence and for the KPSI test, the Aiken index is 0.95. There is a statistically significant gain in the understanding of classical genetics concepts. According to the students, the inclusion of augmented reality enables active participation in the teaching-learning process, and technologies such as augmented reality allow for integration with active pedagogies to facilitate the understanding of science topics, such as the study of classical genetics.

**Keywords:** Teaching of Classical Genetics; Augmented Reality; Didactic Sequence; Active Methodologies; Problem-Based Learning

## *Compreensão da genética apoiada pela realidade aumentada em jovens da educação básica*

**Resumo:** O ano de 2022 foi marcado, na maioria dos setores, pelo início do processo pós-pandemia da COVID-19. O sistema educacional, especificamente a educação básica e média nas escolas públicas em Bogotá, Colômbia, não ficou imune a esse fenômeno que envolveu um experimento forçado na educação, mediado pelas tecnologias da informação na comunicação, no qual muitas pessoas ficaram parcial ou totalmente isoladas. Isso exigiu estratégias criativas por parte dos professores para promover o retorno dos alunos à nova normalidade, e a realidade aumentada emergiu como uma tecnologia nesse sentido. Isso implicou em analisar a compreensão de conceitos relacionados à genética clássica, a partir de um formulário KPSI (Inventário de Conhecimento e Estudo Prévio), preenchido antes e depois de uma sequência didática, baseada na aprendizagem baseada em problemas e na realidade aumentada. A abordagem é principalmente quantitativa, apoiada em testes de hipóteses. Participaram 26 jovens de uma escola pública em Bogotá, na Colômbia. A sequência didática e o teste KPSI foram validados por pelo menos 9 juízes. Tanto para a sequência didática quanto para o teste KPSI, o índice de Aiken é 0,95. Houve um ganho estatisticamente significativo na compreensão dos conceitos de genética clássica. Na opinião dos alunos, a inclusão da realidade aumentada possibilita a participação ativa no processo de ensino-aprendizagem, e tecnologias como a realidade aumentada permitem a integração com pedagogias ativas para facilitar a compreensão de tópicos científicos, como o estudo da genética clássica.

**Palavras-chave:** ensino de genética clássica; realidade aumentada; sequência didática; metodologias ativas; aprendizagem baseada em problemas

## Introducción

En la actualidad, proponer alternativas metodológicas atractivas que estimulen la motivación en los procesos de aprendizaje-enseñanza de las ciencias naturales es importante, dado que en ocasiones abordar temas complejos, como lo relacionado con la genética clásica, presenta dificultades en el momento de comprender conceptos básicos (Buske y Ladvoocat, 2021).

En el área de la Biología, la enseñanza y aprendizaje de la genética clásica ha representado grandes retos tanto para el profesorado como para el estudiantado, teniendo en cuenta la naturaleza y la relación intrínseca de los conceptos para la construcción de un marco conceptual coherente, así como para la apropiación de nuevos conocimientos relacionados, a partir de ideas previas del estudiantado, lo que se conjuga con la falta de implementación de estrategias metodológicas innovadoras y dificultades en la resolución de problemas sobre el tema, entre otros (Machová y Ehler, 2021; Kılıç, 2021; Rojas y Salazar, 2019; Conde y Bernal, 2017; Osman *et al.*, 2017; González *et al.*, 2017; Kılıç *et al.*, 2016).

En relación con lo anterior, Rojas y Salazar (2019) diseñaron una propuesta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de la genética clásica, orientada a la resolución de situaciones problema a través de estrategias que favorecen el desarrollo de competencias científicas útiles en el proceso de aprendizaje. Así mismo, Pantuso *et al.* (2015) desarrollaron una investigación en la que evaluaron la aplicación de estrategias de aprendizaje significativo, basados en la resolución de problemas en genética clásica, donde encontraron un mejor rendimiento académico de los estudiantes, aumento de la motivación y facilidad para resolver situaciones problema.

Por otro lado, algunos autores han orientado sus estudios a la evaluación en la incursión de metodologías apoyadas con herramientas tecnológicas para favorecer la apropiación conceptual de este tema y la resolución de problemas, es así como Gálvez y Navajas (2022) diseñaron una herramienta web para simular la realización de cruzamientos de genética clásica; Ortiz y Piña (2018) plantearon

una estrategia de enseñanza para la solución de problemas en genética, contrastando la implementación de un videojuego con el método de enseñanza tradicional, de donde se evidencia una mejora en las habilidades para resolver problemas de genética, dado que el estudiantado logró reparar, comprender y relacionar de manera adecuada conceptos como  *cromosoma*,  *alelo* y  *herencia*, entre otros, y, de esta manera, entender y solucionar los problemas planteados.

En la gran variedad de propuestas que incluyen recursos tecnológicos, aquellos de aplicación con realidad aumentada (RA), se han generado nuevas oportunidades para acercar a los estudiantes a temas científicos que representan mayor dificultad para la apropiación conceptual; al respecto, algunos autores coinciden en señalar que la RA fomenta el desarrollo de experiencias de aprendizaje más significativas al relacionar lo real y lo virtual, mejorando la visualización, la creación de representaciones mentales, así como la memoria, atención y motivación por el aprendizaje de las ciencias (Yang *et al.*, 2021; Thees *et al.*, 2020; Arenas y Giraldo, 2020; Erbas y Demirer, 2019; Muñoz y Montenegro, 2018; Salmi *et al.*, 2017; Gopalan *et al.*, 2017; Akçayir *et al.*, 2016).

Otras investigaciones han documentado el efecto de la RA, concretamente en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la genética, en los que observaron que los modelos en 3D y demás recursos aumentados, proporcionan imágenes o representaciones concretas de conceptos de la genética clásica, provocando una mayor asociación y redes de comprensión conceptual, que llevan a reconocer las ventajas de esta tecnología para apoyar el aprendizaje del estudiantado (Lham *et al.*, 2020; Nasongkhla *et al.*, 2019).

El potencial de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), manifiesto en los diversos recursos educativos y aplicaciones como la RA, ha tenido amplia aceptación en las diferentes formas de interacción social, especialmente, en entornos educativos. La RA ofrece una alternativa adecuada para motivar al estudiantado a desarrollar el aprendizaje de los conceptos relacionados con las ciencias, como la genética clásica. Los recursos que se utilizan en la RA tienen atributos relevantes en

cuanto al diseño, presentación e interacción con la información, que articulado con la resolución de problemas, se constituyen en un elemento importante en pro del desarrollo del pensamiento científico, esencial en el estudio de las ciencias naturales.

Desde el ámbito pedagógico-didáctico, la resolución de problemas implica procesos cognitivos complejos que irradian en las competencias y habilidades (Pérez y Carballosa, 2018); en ese mismo sentido, el aprendizaje basado en problemas (ABP), como parte de las pedagogías activas, nace de entender que el aprendizaje gira en torno a la búsqueda de soluciones a problemas contextualizados (Romero, 2016). Así mismo, el ABP toma en consideración las ideas previas, aspectos relacionados con el aprendizaje colaborativo e incorpora algunos elementos relacionados con la metodología científica, en pro de experiencias que aporten a la comprensión (Pantoja y Covarrubias, 2013), y en forma innovadora (Enemark y Kjærdsdam, 2008).

La RA provee al ABP información en múltiples formatos para contextos específicos (Blázquez, 2017), lo que posibilita la interacción entre el estudiante, los objetos reales y la información digital, mediante el uso de las *app* de RA instaladas en los dispositivos móviles (Álvarez *et al.*, 2017). Dado que la RA complementa la realidad circundante, sin reemplazarla, en forma interactiva, se constituye en una experiencia motivacional para el estudiantado (Cuendet *et al.*, 2013), potenciando la memoria, concentración y los procesos cognitivos (Cubillo *et al.*, 2014).

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como medio y mediación, formalizadas en diversas aplicaciones de *software* o *hardware*, se configuran en una potencial forma de abordar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Desde hace varios años, la RA emergió como una posibilidad de promover la interacción remota con artefactos culturales; actualmente se ha venido consolidando como una posibilidad para promover los aprendizajes y proponer diversas rutas para la enseñanza.

De otro lado, para la juventud que cursa la educación básica secundaria, el estudio y aprendizaje de la genética clásica resultan complejos

por varias razones, entre las que subyace la noción de probabilidad, así como problemas hipotéticos o próximos a su realidad. Por tal razón, es pertinente la aplicación de modelos analógicos relacionados con conceptos propios de las ciencias que faciliten su apropiación para poder explicar y resolver problemas propuestos en este campo (Diéguez, 2010). La pandemia por la COVID-19 exigió el encierro de las personas que asistían en forma presencial a sus actividades, tal fue el caso de la educación, y este hecho cambió las dinámicas, rutinas y demás aspectos de aprendizaje, de ahí que la postpandemia, en el ámbito de la educación, le implicó al estudiantado comprenderse nuevamente.

La preocupación latente del profesorado para que los estudiantes de educación básica comprendieran la genética clásica ha sido unos de los elementos que motivaron la presente investigación. La pregunta que orienta este trabajo es ¿cuál es la incidencia en la comprensión de los conceptos relacionados con la genética clásica, en una secuencia didáctica, en el aprendizaje basado en problemas y la realidad aumentada de un grupo de estudiantes de básica secundaria de la ciudad de Bogotá, Colombia?

## Materiales y métodos

La presente investigación propone un enfoque principalmente cuantitativo (Creswell, 2015; Hernández *et al.*, 2014; Creswell, 2014; Teddlie y Yu, 2007). Con la prueba T de Student para muestras relacionadas, se verifica la diferencia, estadísticamente significativa, en la comprensión de los conceptos de la genética clásica antes y después de la intervención. Se calcula la ganancia en la comprensión conceptual mediante el cálculo del factor de Hake (Hake, 1998).

## Diseño

Se implementa un diseño de corte preexperimental, de pretest y posttest, con un solo grupo (Campbell y Stanley, 1995). Adicionalmente, finalizada la intervención, se hace una entrevista a un grupo focal. El diseño del estudio está representado en la figura 1, en el que  $G_1$  es el estudiantado de grado noveno,  $O_1$  es la observación inicial con el pretest,

O<sub>2</sub> es la observación después de la intervención de la secuencia didáctica (X<sub>1</sub>) con el postest y O<sub>3</sub> es la entrevista semiestructurada a un grupo focal.

**Figura 1.** Diseño experimental

$$G_1 - O_1 - X_1 - O_2 - O_3$$

**Fuente:** elaboración propia.

## Proceso metodológico

Para el desarrollo del presente estudio, los momentos fueron concreción de las categorías de estudio, diseño y validación de instrumentos, intervención educativa y análisis de resultados. Aunque los momentos parecen secuenciales, en el desarrollo de la investigación estos fueron regresivos, toda vez que en ocasiones hubo necesidad de revisar momentos previos.

## Caracterización de la población

El estudiantado que participa en la investigación es seleccionado a conveniencia. Para la implementación y desarrollo de la secuencia didáctica participan en el proceso completo veintiséis jóvenes, de los cuales ocho son mujeres. A pesar de estar en el proceso de transición de la educación mediada por TIC a la presencialidad, las actividades se caracterizan por realizarse regularmente de manera presencial. Parte de las familias del estudiantado es población flotante. Los recursos de *hardware* y *software* son limitados. Es usual el uso de dispositivos móviles Android.

## Instrumentos

A continuación se describen los tres instrumentos empleados en el estudio:

**Pretest y postest:** la prueba KPSI, propuesta por Tamir y Lunetta (1978), corresponde a una autoevaluación que permite determinar el nivel de conocimientos que se considera se tiene sobre un tema en diferentes momentos. Para el presente estudio, el formulario KPSI incluye una serie de afirmaciones acordes con los ejes temáticos de la investigación, como genética clásica y realidad aumentada. Las afirmaciones se autovaloran en una

escala de 1 a 4 (Martínez y Laurido, 2012), en la que 1 es “se lo podría explicar a mis compañeros”; 2, “creo que lo sé”; 3, “no lo entiendo”, y 4, “no lo sé”. En la tabla 1 se encuentran las afirmaciones que corresponden con el formulario KPSI.

**Tabla 1.** Afirmaciones propuestas para el formulario KPSI (pretest y postest)

### Afirmaciones

Los mecanismos de transmisión hereditaria explican cómo la información pasa de padres a hijos.

La información que se encuentra en el material genético (genotipo) se expresa físicamente a simple vista (fenotipo).

Si se conocen los rasgos físicos de los padres, se puede predecir cómo serán los de sus descendientes.

Los conceptos relacionados con la genética como gen, cromosoma, entre otros, se pueden comprender a través de la construcción de material audiovisual.

Las herramientas tecnológicas aportan en gran medida al aprendizaje de la genética clásica.

A través de la realidad aumentada, se pueden adquirir habilidades necesarias para resolver problemas de genética.

**Fuente:** elaboración propia.

Con la intención de obtener una escala similar a la implementada en la institución educativa, en la que las valoraciones se dan entre 1,00 y 5,00, el tratamiento de los datos obtenidos mediante el formulario requiere una transformación del valor correspondiente a cada categoría, por lo que 1 es 5,00 (Excelente), 2 es 3,75 (Bueno), 3 es 2,50 (Insuficiente) y 4 es 1,00 (Deficiente).

## Secuencia didáctica (SD)

La SD propuesta tiene dos versiones y tres momentos. Una versión para estudiantes y otra para docentes. La decisión de los contenidos se hace con base en los estándares curriculares y los derechos básicos de aprendizaje para las ciencias naturales vigentes en la normatividad colombiana. Los momentos se ilustran en la figura 2 y se describen a continuación:

- **Momento de sensibilización.** Se presenta la estrategia de trabajo (aprendizaje basado en problemas), las pautas importantes que deben ser de conocimiento general en el grupo, así como los

roles que debe asumir tanto el estudiantado como el profesorado que participa en la secuencia.

- **Momento de fundamentación.** A partir de identificar las ideas previas del estudiantado, se aproxima a las nociones de genética clásica, elementos básicos para desarrollar problemas, así como el uso de las TIC, específicamente RA.
- **Momento de presentación y socialización de la hipótesis.** Es la parte final de la SD, en la que, a través de la elaboración de diferentes artefactos como

mapas mentales, diagramas o escritos, resuelven problemas ya sean abiertos o cerrados sobre genética clásica.

En la figura 3 se muestra cada uno de los capítulos que conforman la secuencia didáctica. Cada momento está concentrado en un capítulo. La figura 3a es una muestra de la aproximación al ABP. La figura 3b corresponde al inicio del momento dos, con las ideas previas. La figura 3c, corresponde a una de las actividades de evaluación.

**Figura 2.** Proceso de implementación secuencia didáctica



Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.** Muestra de la SD en el momento (a) sensibilización al ABP, (b) fundamentación y (c) presentación y sustentación de la hipótesis



Fuente: elaboración propia.

El primer momento denominado “sensibilización al ABP” tiene como objetivo el reconocimiento de los fundamentos básicos del aprendizaje basado en problemas, mediante el desarrollo de una serie de actividades relacionadas con situaciones cotidianas, como el manejo de residuos en el colegio (ver figura 4); los estudiantes comprenden y aplican los pasos secuenciales necesarios para la resolución de problemas propuestos en esta metodología (figura 4a); así mismo, se apoya en la elaboración de un separador que recuerda a los estudiantes los pasos del ABP en la medida que desarrollan la secuencia mostrada en la figura 4b. De la misma manera, el acceso a ciertos contenidos de la secuencia se hace por medio de códigos QR,

como herramienta para un primer acercamiento a la realidad aumentada.

La segunda fase de la secuencia se denomina “Fundamentación” (figura 5), propuesta en dos partes: la primera que busca la identificación de ideas previas en los estudiantes sobre los mecanismos de herencia de las características biológicas, incluye una serie de imágenes que muestran situaciones reales de parentesco entre padres e hijos, como se muestra en la figura 5a, y segundo, (figura 5b) que tiene como objetivo la comprensión de conceptos relacionados a la genética clásica apoyándose en el uso de un diccionario elaborado con recursos de realidad aumentada, para facilitar la apropiación del tema.

**Figura 4.** Actividades de sensibilización, (a) actividad para el acercamiento al aprendizaje basado en problemas, (b) separador con pasos del ABP



Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.** Actividades de fundamentación (a) Actividad de ideas previas, (b) diccionario de genética con realidad aumentada

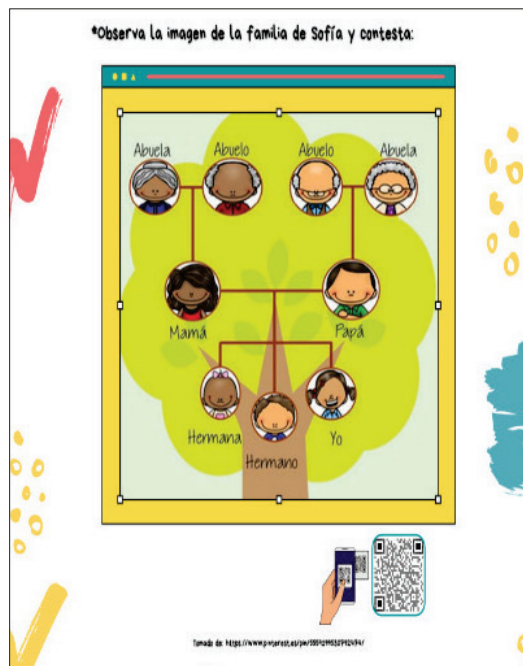


**Fuente:** elaboración propia.

El tercer momento de esta secuencia se denomina “Presentación y sustentación de la hipótesis”, autoevalúa el grado de comprensión de conceptos relacionados a la genética clásica, así como el reconocimiento de la importancia del uso de la tecnología en el aprendizaje, por medio de una actividad

grupal en la cual a través de un caso relacionado con los rasgos compartidos entre familiares, como se muestra en la figura 6, los estudiantes establecen las razones por las cuales los mecanismos hereditarios influyen en las características físicas de los individuos.

**Figura 6.** Actividades de presentación y sustentación de la hipótesis



**Fuente:** elaboración propia.



La validación de la SD se hizo a través de jueces, apoyados en el índice a Aiken (Aiken, 1985). Los jueces son pares o expertos académicos, con maestría o doctorado afín a las ciencias naturales (biología) o la tecnología. Además, se hizo un pilotaje de su implementación con jóvenes estudiantes del mismo grado y rango de edad.

## Entrevista grupo focal

Con el fin de identificar la percepción del estudiantado en relación con la experiencia con la SD, se lleva a cabo una entrevista semiestructurada a un grupo focal, conformado por cuatro estudiantes con características distintivas del grupo de estudio. El protocolo de la entrevista incluye el consentimiento informado (del estudiantado y sus padres o tutores), la presentación del objetivo y demás aspectos de la entrevista. Paso siguiente, en un video, se visualiza una situación elicitora (Suárez, 2016). El video propuesto por Gutiérrez y Martínez (2022) se basa en el guion que se presenta a continuación:

(...) En el colegio El Nuevo Futuro I. E. D., los estudiantes de grado noveno están repartidos en dos grupos 9-1 y 9-2. El docente Fernando Gutiérrez, encargado de la asignatura de ciencias naturales de 9-1, explica a sus estudiantes los mecanismos de la herencia, mediante la aplicación de recursos en realidad aumentada, con el fin de que resuelvan problemas de genética, desarrollando su clase de la siguiente manera:

1. Llega al salón y saluda a sus estudiantes.
2. Llama a lista.
3. Organiza los estudiantes en grupos de trabajo, pues él considera que el aprendizaje es más efectivo cuando se construye en equipo.
4. Entrega a cada grupo el material de trabajo, que consiste en una cartilla con imágenes, contenidos coloridos y un diccionario elaborado por él mismo, que contiene conceptos importantes para la comprensión del tema y con los cuales los estudiantes pueden interactuar mediante marcadores con realidad aumentada.

5. El profesor desarrolla el tema mediante la estrategia de aprendizaje basado en problemas, que consiste en una serie de pasos para dar solución a diferentes situaciones de la genética.
6. Una vez que los estudiantes han interactuado en sus grupos de trabajo, con la cartilla y con los recursos de realidad aumentada del diccionario, el docente evalúa el tema proponiendo algunos problemas que los estudiantes deben resolver y socializar a sus compañeros.
7. Por último, se retroalimentan los resultados de la evaluación.

Por otro lado, el docente Miguel Reyes es el encargado de ciencias naturales en el grupo 9-2, quienes también están viendo el tema de genética, pero desarrolla su clase de manera diferente:

1. Llega al salón y saluda a sus estudiantes.
2. Llama a lista.
3. Solicita a los estudiantes organizar las filas y sacar el cuaderno de ciencias.
4. El docente realiza una exposición del tema con un esquema en el tablero y solicita a los estudiantes que lo copien en el cuaderno.
5. Mientras hace la explicación del tema realiza preguntas a sus estudiantes de manera espontánea.
6. Explica cómo resolver problemas de genética en el tablero.
7. Solicita a algunos estudiantes pasar al tablero a resolver ejercicios de ejemplo.
8. Como tarea, el docente pide a sus estudiantes consultar la definición de algunos conceptos de genética y resolver otros ejercicios como aplicación de lo visto en clase.
9. En la siguiente clase evalúa el tema mediante una evaluación escrita donde pregunta a sus estudiantes sobre definiciones precisas de algunos conceptos y el desarrollo de problemas en genética.

Al finalizar el periodo académico, se encontraron en un descanso dos amigos de 9-1 y 9-2, y

dialogaron sobre lo interesante que fue el tema de genética trabajado en la clase de ciencias (...).

Posteriormente se inicia el diálogo, acompañado de preguntas que promueven tensiones, con el fin de evocar y motivar la participación del estudiantado. Las preguntas y situaciones se ciñen a las categorías de análisis: aprehensión o fortalecimiento de un marco conceptual en genética, empleo de recursos de RA en la apropiación conceptual y uso de la estrategia ABP.

### Procesamiento de la información

En cuanto al tratamiento de los datos, se utiliza el software SPSS®. Para la prueba KPSI, se verifica el supuesto estadístico de normalidad, con la prueba de Shapiro-Wilk; se corre la prueba T de Student de dos muestras relacionadas para establecer la diferencia significativa; se calcula el factor de Hake, para determinar el orden de magnitud de la ganancia. La entrevista se transcribe, se codifica con las categorías *a priori*, para identificar elementos que contribuyan a comprender los hallazgos en los cálculos cuantitativos. En la transcripción de la entrevista se utilizan nombres distintos a los verdaderos, para proteger la identidad de las personas

que participaron en el presente estudio y en cumplimiento de la normatividad vigente en Colombia para el tratamiento de datos (Congreso de la República de Colombia, 2012).

Las hipótesis establecidas para el estudio son:

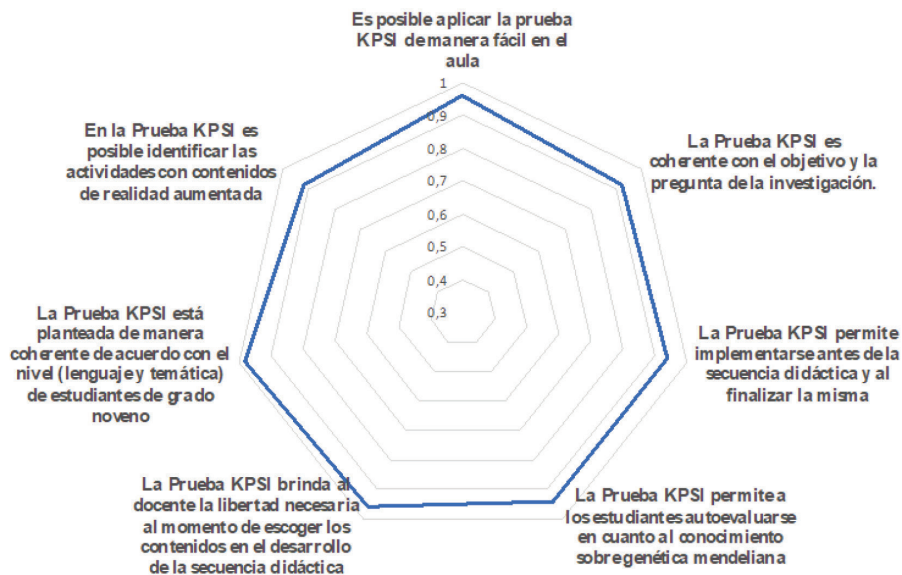
- $H_1$  = La comprensión de conceptos relacionados con la genética clásica presenta diferencias significativas antes y después de la implementación de la secuencia didáctica.
- $H_0$  = La comprensión de conceptos relacionados con la genética clásica no presenta diferencias significativas antes y después de la implementación de la secuencia didáctica.

## Resultados y discusión

### KPSI

De acuerdo con lo expresado por los jueces (figura 7), para el proceso de validación del autoreporte KPSI, se tienen en cuenta los valores del coeficiente de validación de Aiken para cada criterio. Los diferentes criterios de evaluación, a juicio de los pares y expertos (12), tienen valoraciones superiores a 0,92.

**Figura 7.** Resultado de valoraciones de los jueces en cada criterio y cálculo del coeficiente V de Aiken para el formulario KPSI



Fuente: elaboración propia.

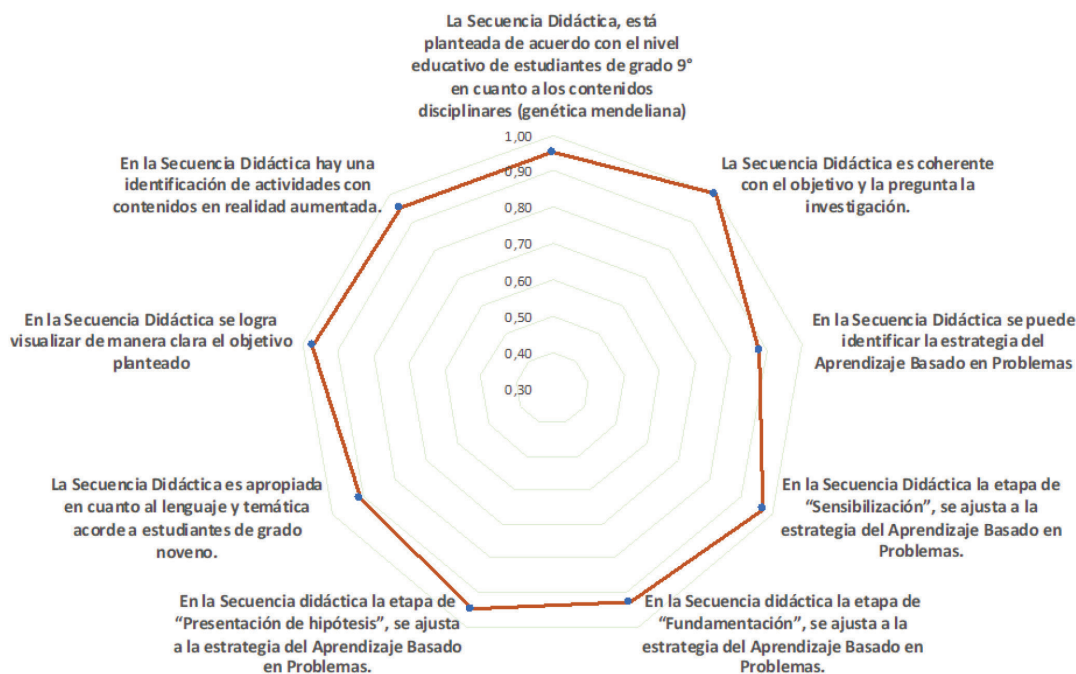
Los valores del índice de Aiken están entre 0,00 (Inadecuado) y 1,00 (Excelente). Este valor resulta alentador y puede afirmarse que coincide con lo descrito por varios autores, quienes lo han usado con algún éxito en sus investigaciones referidas al uso y generalidad de la RA, el uso e impacto de tecnologías inmersivas en las actitudes científico-matemáticas, contenidos básicos de las ciencias naturales, valoración rápida en diversos momentos para establecer lo que el estudiantado cree saber o entender de un tópico, entre otros (Guerra y Segovia, 2021; León *et al.*, 2018; Martínez y Laurido, 2012; Quijano *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021).

## Secuencia didáctica

La validación de la SD fue hecha por 9 jueces, retomando criterios de pertinencia, coherencia interna de la SD y externa con la estructura de la investigación, actividades e incorporación de realidad aumentada. Se utiliza el índice de Aiken; de manera adicional los jueces emitieron observaciones, en su mayoría de forma, que fueron atendidas.

La menor de las valoraciones del índice de Aiken es de 0,88, que corresponde con “(...) la SD se puede identificar la estrategia del aprendizaje basado en problemas (...)”, que resulta tranquilizante para lo propuesto, de acuerdo con Escurra (1988).

**Figura 8.** Resultado de valoraciones de los jueces en cada criterio y cálculo del coeficiente V de Aiken para la secuencia didáctica



**Fuente:** elaboración propia.

En relación con el contenido, los objetivos, la pertinencia y la consistencia con la investigación propuesta, los resultados en la validación de la SD son prometedores, dado que los índices coinciden con los encontrados en otros procesos educativos relacionados con material educativo en el campo de la enseñanza, así como de rúbricas analíticas

(Ávila *et al.*, 2019; Bowen, 2017; Guevara y Veytia, 2020; Ibarra *et al.*, 2018; Imbachi y Suárez, 2021).

## Relación con los aprendizajes

En esta sección se analizan los resultados del pretest KPSI (O<sub>1</sub>) y el posttest KPSI (O<sub>2</sub>), los que están sintetizados en la figura 9. El primero fue la

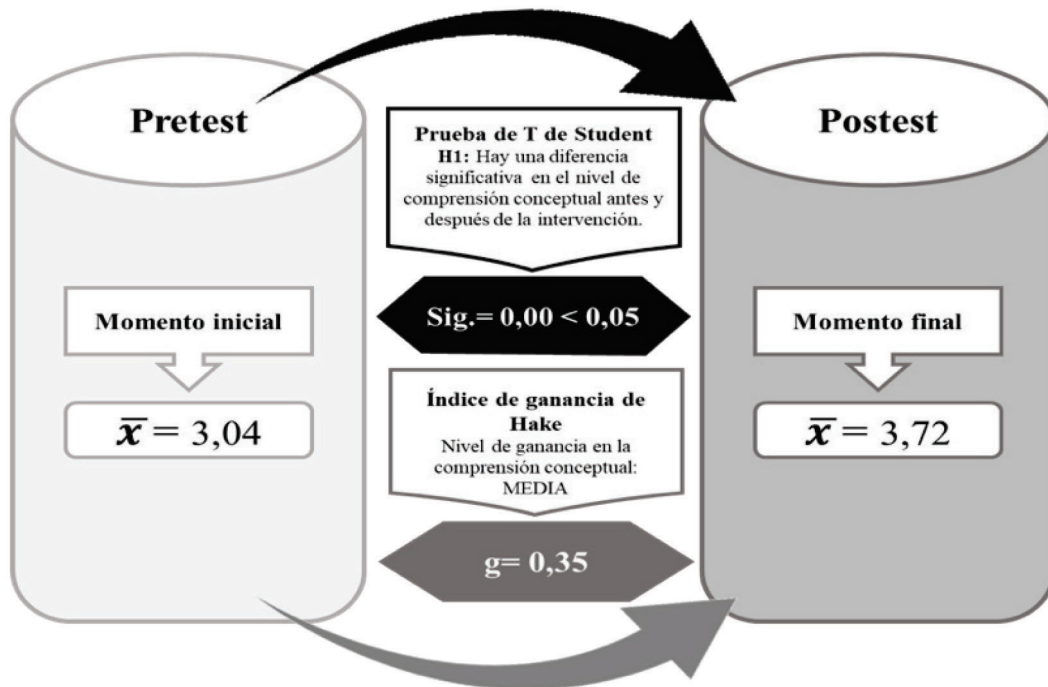
verificación del supuesto estadístico de normalidad de los datos, el cual se cumplió de acuerdo con la prueba de Shapiro Wilk, para el pretest ( $\bar{x} = 3,04$ ,  $gl = 26$ ,  $sig = 0,645$ ) y el postest ( $\bar{x} = 3,72$ ,  $gl = 26$ ,  $sig = 0,063$ ) en que se observa que el  $sig$  es mayor o igual a 0,050.

Enseguida se corre la prueba T Student, donde se obtiene un  $sig$  igual a 0,000, menor al alfa asumido (0,050). Por lo anterior, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , y se acepta la hipótesis alterna  $H_1$ , que

indica que “La comprensión de conceptos relacionados con la genética clásica presenta diferencias significativas antes y después de la implementación de la secuencia didáctica”.

Luego, para establecer la ganancia  $\langle G \rangle$ , se procede a calcular el índice de Hake, con la siguiente ecuación. Si la ganancia es menor o igual a 0,30, es baja; si es mayor a 0,30, pero menor o igual a 0,50, es media, y si es mayor a 0,50 y menor o igual a 1,00, es alta.

Figura 9. Resultados pretest y postest



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Ecuación de Hake

$$\langle G \rangle = \frac{[Promedio\ de\ Postest] - [Promedio\ de\ PreTest]}{5,00 - [Promedio\ de\ PreTest]}$$

Fuente: elaboración propia.

La ganancia obtenida en la comprensión de la genética clásica fue de 0,35, lo que se clasifica como una ganancia media. Con todo lo anterior, se

puede decir que hay evidencia empírica que muestra que la SD incidió estadísticamente de manera significativa en las medidas obtenidas en el grupo,

en cuanto a la comprensión de los conceptos relacionados con la genética clásica, y, en general, el grupo de estudio mejoró la comprensión en término medio.

En referencia a un caso particular está Carlos, un estudiante destacado que obtuvo una ganancia  $\langle G \rangle$  alta, tiene 14 años y le gusta trabajar de manera colaborativa y ser líder en su grupo. Para Carlos es importante utilizar los recursos tecnológicos, como los dispositivos móviles, en los procesos de enseñanza aprendizaje de las ciencias, que incorporan un número importante de conceptos que, en ocasiones, resulta difícil relacionarlos y comprenderlos, o que solo se reduce a memorizar y escribir las explicaciones del profesorado; lo anterior se puede inferir cuando menciona que

(...) ya que cuando un profesor dicta o digamos hace una clase así para que los estudiantes escriban y copien, él puede decir palabras que para algunos estudiantes suenan raras o puede nombrar objetos, los cuales, o partes de una, de una célula o cosas así, y un estudiante pues, digamos que se puede aprender el nombre, pero no lo puede diferenciar (...), tiene mejores materiales para poder que todos los demás estudiantes puedan aprender, ya que si unos entienden el tema fácilmente leyendo, otros pueden ver las imágenes o los hologramas digitales y poder aprender más fácilmente (...).

De lo anterior, se puede evidenciar la relevancia de los recursos incorporados a través de la RA en la SD, confirmando la evidencia empírica desde la estadística antes descrita y en consonancia con la diversidad para aprender del estudiantado. Lo dicho por Carlos confirma de alguna manera el trabajo de Flores *et al.* (2020), cuando indica que los temas derivados de la genética clásica representan una dificultad para los estudiantes, ya que los conceptos implicados en su aprendizaje no son evidentes a nivel macroscópico, lo que los lleva a realizar descripciones o definiciones incorrectas, que impiden la resolución de problemas ligados a estos temas.

Otro caso es el de Elías, un estudiante que obtuvo una ganancia  $\langle G \rangle$  alta entre los KPSI. Él señala que puede resultar exitoso y pertinente disponer de

(...) mejor material de consulta con las cartillas y con el método de escanear los mapas por *tablet*,

utilizando realidad virtual; esto complementa o fortalece el aprendizaje y además eh (...) tiene mejor desarrollo de las clases para aprender ciertos temas (...) una forma más entretenida por así decirlo, más divertida de aprender, porque se presta más; o sea, se interactúa mucho más con más cosas; o sea, por ejemplo, usted podía escanear y veía ahí, veía las imágenes y veía cosas y escuchaba también, entonces si es mucho mejor la metodología (...).

De lo anterior, se puede interpretar la relevancia del uso de material impreso como mediación en el aprendizaje de la genética, que se enriquece con la RA. Quiere decir que hay un valor especial en la experiencia que ofrece la interacción con la realidad aumentada y el material físico, para la aprehensión de conceptos que pueden ser complejos a la luz de los estudiantes. Esto coincide con los resultados de otros trabajos que identifican las cualidades de los recursos tecnológicos, específicamente la RA en relación con la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Yang *et al.*, 2021; Thees *et al.* (2020); Arenas y Giraldo, 2020; Erbas y Demirer, 2019; Muñoz y Montenegro, 2018; Salmi, Thunberg y Vainikainen, 2017; Gopalan, Bakar, y Zulkifli, 2017; Akçayir *et al.* 2016).

También está el caso de Lina, una joven de 15 años, que a su juicio obtuvo una ganancia media. Ella vive con su padre y su hermano mayor. Aunque Lina presenta mayor dificultad para el trabajo en equipo, procura presentar sus trabajos con calidad y tiene una gran capacidad en la búsqueda de soluciones a las situaciones problemáticas:

(...) Cuando se trabaja por imágenes se explica mejor el tema, ya que digamos en una evaluación, ahí están los cuadros de Punnett, ¿no [es] cierto?, entonces ahí uno los ve y, y uno recuerda, ¡ah no! vimos esto en clase, ¿no [es] cierto? Y también el cómo, como hacer los ejercicios, las actividades viene con dibujo de digamos, del conejo, el conejo tiene (...), bueno hay dos conejos, de dos colores, blanco y negro entonces ahí uno puede diferenciar y ver cómo es la mezcla y, entonces, ahí uno recuerda y hace la actividad (...) lo de los pasos a mí me gustó porque uno tiene mucho tiempo para hacer cada uno sus pasos y a un tiempo correcto, cada uno hace paso por paso sin que esté corriendo ya el día de la evaluación, se espera (...).

De acuerdo con lo anterior, se puede inferir que es relevante manejar diferentes representaciones de los diversos conceptos estudiados; así mismo, al parecer para Lina, resulta pertinente la organización cognitiva que se ofreció a través de la SD en un paso a paso (figura 3a), por lo que considerar la relación ABP y RA en la SD resultó siendo asertivo para la forma en como aprende Lina. Adicionalmente, tener la SD dispuesta en papel, así como la posibilidad de la RA se constituye en un dispositivo externo de memoria que facilita la conexión cognitiva para el aprendizaje.

Está el caso de Clara, quien obtuvo una ganancia media ( $G$ ). Ella se caracteriza por tener una disposición constante y positiva hacia los procesos de la enseñanza y el aprendizaje. Resaltando los diferentes ritmos de aprendizaje que se presentan en los estudiantes del grupo y, pese a que tiene un acceso restringido al uso de dispositivos móviles, muestra interés y curiosidad por las actividades de la SD. Tratando de comparar los grupos 9-1 y 9-2 mencionados en el video de la entrevista, Clara dice:

Desde mi punto de vista, si nos enfrentamos a un problema real, yo creo que el grupo que podría eh (...) resolver algún problema que se le presente en la vida de este tipo sería el grupo eh (...) 9-1 ¿por qué?, porque ellos están manejando digital algo que hay que saber es básicamente en muchas generaciones futuras, ¿qué sucede? Que a diferencia de un estudiante que no tenga una herramienta digital, sino cuando básicamente está el profesor con un tablero y un marcador y ellos con el lápiz y el cuaderno no pudo explorar más allá de las posibilidades que tenía para aprender, mientras que un estudiante con tecnología digital eh (...) hizo ensayos y cuando se le presente un problema de ese tipo va a poder resolverlo con facilidad.

De lo anterior se puede inferir cómo Clara identifica que se está inmerso en un mundo contemporáneo, con abundantes recursos tecnológicos, que al utilizarlos de forma adecuada pueden aportar soluciones a algunas situaciones problema y que, a través del acto educativo, estos pueden ser incorporados en beneficio del estudiantado, sin necesidad de sacrificar los elementos que habitualmente

se han venido utilizando en algunas actividades de docencia, como lo son el lápiz y el papel, como punto de interconexión cognitivo con el contexto.

Sin pretender ser reduccionistas del acto educativo, es necesario señalar que la evidencia del presente estudio indica que la articulación del ABP con la RA, a través de una SD, orientadas al aprendizaje de la genética clásica, tienen potencialidades para movilizar la cognición del estudiantado en un contexto contemporáneo, en pro de la comprensión de conceptos estudiados.

## Limitaciones del estudio

El presente estudio se desarrolló en un grupo de estudiantes activos de grado noveno de un colegio público en la ciudad de Bogotá, Colombia; por lo anterior, los resultados no son generalizables; sin embargo, cuando se enriquecen los datos obtenidos cuantitativamente con la mirada de los estudiantes, se posibilita una mejor interpretación del dato, aproximándose a la población de estudio.

## Conclusiones

El presente trabajo de investigación aporta inicialmente evidencia empírica que indica que, si bien la resolución de problemas relacionados con la genética clásica es compleja, desde el punto de vista disciplinar para jóvenes de educación básica secundaria, es posible estudiarlos y obtener una apropiación media de los conceptos, cuando se utilizan pedagogías activas, como el aprendizaje basado en problemas, en conjugación con tecnologías y que provocan o facilitan la interacción entre lo real y lo virtual, como la realidad aumentada.

Adicionalmente, a la luz del estudiantado, parece ser que al disponer de una secuencia didáctica en papel, que interactúe con aplicaciones de realidad aumentada, se configura un dispositivo externo de memoria activa desde el punto de vista cognitivo, que facilita la interconexión en la apropiación de los conceptos propios de la genética clásica.

De otro lado, se puede indicar que es posible una organización cognitiva para abordar las actividades que se proponen al estudiantado, que resultan siendo relevantes y al mismo tiempo

facilitan la organización cognitiva en el abordaje de los problemas.

Finalmente, a manera de reflexión, es importante mencionar que la validación por parte de jueces del material que se utiliza en las investigaciones es una tarea necesaria para lograr la coherencia y consistencia en la apuesta educativa, en consonancia con la investigación que se proponga.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Maestría en Educación en Tecnología de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, y el tercer autor reconoce el aporte de la Universidad de Nariño.

## Referencias

- Aiken, L. (1985). Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings. *Educational and Psychological Measurement*, 45, 131-141. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0013164485451012>
- Akçayir, M., Akçayir, G., Pektaş, H. M. y Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. In *Computers in Human Behavior* 57, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>
- Álvarez, S., Delgado, L., Gimeno, M., Martín, T., Almaraz, F. y Ruiz, C. (2017). El Arenero Educativo: La Realidad Aumentada un nuevo recurso para la enseñanza. *Edmetic Revista de Educación Mediática y TIC*, 6(1), 105-123. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v6i1.5810>
- Arenas, V. y Giraldo, L. (2020). La realidad aumentada y el aprendizaje basado en problemas como estrategia que soportan los Living Lab. *Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informacao*, 572-583. <https://search.proquest.com/openview/5d92effec869242e251366fb53143301/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Ávila, M., Juárez, L., Arreola, A. y Palmares, O. (2019). Construcción y validación de un instrumento de valoración del desempeño docente en la ejecución de una secuencia didáctica. *Revista de Investigación En Educación*, 17(2), 122-142. <https://reined.webs.uvigo.es/index.php/reined/article/view/409>
- Blázquez, A. (2017). *Realidad Aumentada en Educación*. Gabinete de Tele-Educación vicerrectorado de Servicios tecnológicos. Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/45985/1/Realidad\\_Aumentada\\_\\_Educacion.pdf](https://oa.upm.es/45985/1/Realidad_Aumentada__Educacion.pdf)
- Bowen, D. G. (2017). Current status of the doe/nnsa nuclear criticality safety program hands-on criticality safety training courses. *ANS NCSD - 2017 Nuclear Criticality Safety Division Topical Meeting: Criticality Safety - Pushing Boundaries by Modernizing and Integrating Data, Methods, and Regulations, 2017-Sept.* [https://www.ans.org/meetings/am2022/session/view-1124/#paper\\_3034](https://www.ans.org/meetings/am2022/session/view-1124/#paper_3034)
- Buske, R. y Ladvoat, M. (2021). What is worse: to mislearn or to forget? Knowledge about Mendelian inheritance among high school senior students. *Journal of Biological Education*, 55(5), 461-471. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1707260>
- Campbell, D. y Stanley, J. (1995). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social* (7th ed.). Amorrortu editores.
- Conde, J., Bernal, J. (2017). La pregunta como estrategia didáctica para el aprendizaje significativo del concepto herencia biológica, en estudiantes de grado octavo. In *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza: Vol. Edición Ex* (ISSN 2027-1034), 330-340. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2017-7122>
- Creswell, J. (2014). *Research desing, quantitative, qualitative and mixed methods approaches* (Cuarta). SAGE Publications. [https://books.google.com.co/books?id=PViMtOnJlLcC&printsec=frontcover&dq=Creswell+2014&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Creswell+2014&f=false](https://books.google.com.co/books?id=PViMtOnJlLcC&printsec=frontcover&dq=Creswell+2014&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Creswell+2014&f=false)
- Creswell, J. (2015). *A concise introduction to mixed methods research*. SAGE Publications. [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=51U-XBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Creswell+2014&ots=6aHrJ3WmLE&sig=LdIemJ2YGTXS-Q2OsvDO\\_aHrhSao&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Creswell+2014&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=51U-XBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Creswell+2014&ots=6aHrJ3WmLE&sig=LdIemJ2YGTXS-Q2OsvDO_aHrhSao&redir_esc=y#v=onepage&q=Creswell+2014&f=false)
- Cubillo, J., Martín, S., Castro, M. y Colmenar, A. (2014). Recursos digitales autónomos mediante Realidad Aumentada. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 17(2), 241-274. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=331431248012>
- Cuendet, S., Bonnard, Q., Do-Lenh, S. y Dillenbourg, P. (2013). Designing augmented reality for the classroom. *Computers and Education*, 68, 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.015>
- Diéguez, A. (2010). *Filosofía de la ciencia*. Editorial Biblioteca Nueva. Madrid, España
- Enemark, S. y Kjærdsdam, F. (2008). El APB en la teoría y la práctica: la experiencia de Aalborg sobre la innovación del proyecto en la enseñanza universitaria. In U. Araujo y G. Sastre (Eds.), *El aprendizaje basado en problemas, Una nueva perspectiva de la enseñanza en*

- la universidad (4th ed.), 67-91. Gedisa Biblioteca de educación. <https://vbn.aau.dk/en/publications/el-apb-en-la-teoria-y-la-practica-la-experiencia-de-aalborg-sobre>
- Erbas, C. y Demirer, V. (2019). The effects of augmented reality on students' academic achievement and motivation in a biology course. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 450-458. <https://doi.org/10.1111/jcal.12350>
- Escurra, L. M. (1988). Cuantificación de la validez de contenido por criterio de jueces. *Revista de Psicología*, 6(1-2), 103-111. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/psicologia/article/view/4555/4534>
- Flores, F., García, B. y Báez, A. (2020). Logros en la comprensión de temas de genética utilizando representaciones externas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 17(3), 1-18. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2020v17.i3.3101](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2020v17.i3.3101)
- Gálvez Salido, A. y Navajas-Pérez, R. (2022). Una Calculadora de Genes para enseñar mendelismo, interacciones génicas y ligamiento. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, 42, 99. <https://doi.org/10.7203/dces.42.21008>
- González, C. R., Banet, E. y Banet, L. L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka*, 14(3), 550-569. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i3.04](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.04)
- Gopalan, V., Bakar, J. A. A. y Zulkifli, A. N. (2017). A brief review of augmented reality science learning. *AIP Conference Proceedings*, 1891(October). <https://doi.org/10.1063/1.5005377>
- Guerra, M. y Segovia, J. (2021). KPSI como herramienta de autoevaluación metacognitiva en el desarrollo de la competencia intercultural en salud en medicina. *Journal of Health and Medical Sciences*, 6(4), 269-275. [https://www.researchgate.net/publication/348116570\\_KPSI\\_como\\_herramienta\\_de\\_autoevaluacion\\_metacognitiva\\_en\\_el\\_desarrollo\\_de\\_la\\_competencia\\_intercultural\\_en\\_salud\\_en\\_medicina](https://www.researchgate.net/publication/348116570_KPSI_como_herramienta_de_autoevaluacion_metacognitiva_en_el_desarrollo_de_la_competencia_intercultural_en_salud_en_medicina)
- Guevara, G. y Veytia, M. (2020). Content validity of an analytical rubric of the design of didactic sequences as an improvement of the pedagogical practice of the teaching team from the socioformation approach. *Revista Electrónica Educare*, 25(1), 1-19. <https://doi.org/10.15359/ree.25-1.20>
- Gutiérrez, N. y Martínez, L. (2022). Incidencia de una secuencia didáctica fundamentada en el aprendizaje basado en problemas y la realidad aumentada, para fortalecer la resolución de problemas de genética en estudiantes de grado noveno del Colegio Liceo Nacional Agustín Nieto Caballero IED. [Tesis de Maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] Bogotá, Colombia.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 64(66), 64-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (M. G. H. Education (6th edic)).
- Ibarra, S., Segredo, S., Juárez, L. G. y Tobón, S. (2018). Estudio de validez de contenido y confiabilidad de un instrumento para evaluar la metodología socioformativa en el diseño de cursos. *Revista Espacios*, 39, 24-32. <http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-24.html>
- Imbachi, I. y Suárez, O. (2021). Diseño y validación de secuencia didáctica para el estudio de la corriente eléctrica con dispositivos móviles en el contexto rural. *Tecné, Episteme y Didaxis, Silberman 2006*, 2656-2661. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15326>
- Kılıç, D., Taber, K. S. y Winterbottom, M. (2016). A Cross-National Study of Students' Understanding of Genetics Concepts: Implications from Similarities and Differences in England and Turkey. *Education Research International*, 2016(c), 1-14. <https://doi.org/10.1155/2016/6539626>
- Kılıç Mocan, D. (2021). What do Students Really Understand? Secondary Education Students' Conceptions of Genetics. *Science Insights Education Frontiers*, 10(2), 1405-1422. <https://doi.org/10.15354/sief.21.or061>
- León, F., Duque, E. y Escobar, P. (2018). Estrategias de formulación de preguntas de calidad mediadas por realidad aumentada para el fortalecimiento del pensamiento científico. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(78), 791-815. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-66662018000300791&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-66662018000300791&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Ley 1581 de 2012. *Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.*
- Lham, T., Jurmey, P. y Tshering, S. (2020). Augmented Reality as a Classroom Teaching and Learning Tool: Teacher's and Student's Attitude. *Asian Journal of Education and Social Studies*, November, 27-35. <https://doi.org/10.9734/ajess/2020/v12i430318>
- Machová, M. y Ehler, E. (2021). Secondary school students misconceptions in genetics: origins and solutions.



- Journal of Biological Education*, 00(00), 1-14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136>
- Martínez, J. y Laurido, C. (2012). Evaluación diagnóstica de conocimientos científicos en dos cursos de educación secundaria mediante un mismo instrumento de autoevaluación. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 24, 90-96. <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/79>
- Muñoz, L. y Montenegro, R. (2018). Uso de la realidad aumentada en la enseñanza-aprendizaje de ciencias naturales. *Ingeniería Solidaria*, 14(24), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2155> Resumen
- Nasongkhla, J., Supadaec, C. y Chiasiriphan, T. (2019). Implementing multiple AR markers in learning science content with Junior High School students in Thailand. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(7), 48-60. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i07.9855>
- Ortiz Benavides, F. L. y Piña López, C. E. (2018). Estrategia tecno-didáctica para la solución de problemas de genética en estudiantes de educación a distancia. *Revista Eureka*, 15(2), 1-14. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i2.2301](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2301)
- Osman, E., BouJaoude, S. y Hamdan, H. (2017). An Investigation of Lebanese G7-12 Students' Misconceptions and Difficulties in Genetics and Their Genetics Literacy. *Int J of Sci and Math Educ*, 15, 1257-1280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10763-016-9743-9>
- Pantoja, J. y Covarrubias, P. (2013). La enseñanza de la biología en el bachillerato a partir del aprendizaje basado en problemas (ABP). *Perfiles Educativos*, 35(139), 93-109. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0185-2698\(13\)71811-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0185-2698(13)71811-7)
- Pantuso, F., Felgueras, S., Stella, F., Virginillo, S., Sarlinga, E., Bianchi, D., & Pulido, V. (2015). *La resolución de problemas como herramienta didáctica del aprendizaje en genética*. <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar/convocatoria>
- Pérez, F. y Carballosa, A. (2018). Solucion de problemas complejos en las ciencias naturales de la educación básica. *Revista Conrado*, 14(64), 133-138. <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v14n64/1990-8644-rc-14-64-133.pdf>
- Quijano, M., Torres, L. y Botello, O. (2021). Instrumento kpsi y el conocimiento previo de estudiantes. área de ciencias naturales. *IX Congreso Internacional Sobre Formación de Profesores de Ciencias*, 1466-1473. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15369>
- Rojas, V. y Salazar, M. (2019). Diseño e implementación de material didáctico para la enseñanza de genética mendeliana en estudiantes de grado décimo. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(31), 45-55. <https://www.revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/181>
- Romero, A. (2016). Aprendizaje Basado en Problemas, sobre ambiente virtual de aprendizaje, un modelo de enseñanza y aprendizaje en la Universidad Santo Tomás - VUAD. [Tesis de doctorado, Universidad Santo Tomás]
- Salmi, H., Thuneberg, H. y 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>
- Silva, F., Carrillo, J. y Fernández, J. A. (2021). Uso de tecnologías inmersivas y su impacto en las actitudes científico-matemáticas del estudiantado de Educación Secundaria Obligatoria en un contexto en riesgo de exclusión social. *Educar*, 57(1), 119-138. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1136>
- Suárez, O. J. (2016). Recursos educativos abiertos, artefactos culturales, concepciones de los profesores de física para ingeniería: análisis de dos estudios de caso. *Gón-dola, Enseñanza y Aprendizaje de Las Ciencias*. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.gdla.2016.v11n2.a1>
- Tamir, P. y Lunetta, V. (1978). An Analysis of Laboratory Inquiries in the bscs Yellow Version. *American Biology Teacher*, 40(6), 353-357. <https://doi.org/10.2307/4446267>
- Teddle, C. y Yu, F. (2007). Mixed Methods Sampling. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 77-100. <https://doi.org/10.1177/1558689806292430>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P. y Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108(March), 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Yang, Y., Cai, S., Wen, Y., Li, J. y 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>

