

Expresión genética *in-silico* empleando gamificación y aprendizaje basado en retos

In-silico gene expression using gamification and challenge-based learning

 César A. Peña;  Efraín H. Pinzón;  Elba V. Rueda;
 Jacqueline Calderón;  Jaime E. Martínez;  Lina M. Mejía

cesar_pea_fonseca@yahoo.es; efrain.pinzon@cvudes.edu.co; elba.rueda@cvudes.edu.co;
jackeline.calderon@cvudes.edu.co; jaime.martinez@cvudes.edu.co; lina.mejia@cvudes.edu.co

Secretaría de Educación de Santander; Universidad de Santander, Colombia



Recibido: 25 de enero de 2022

Aprobado: 30 de junio de 2022

eISSN: 2145-8537

<https://doi.org/10.18273/revdu.v23n1-2022005>

Resumen: el aprendizaje inmersivo usando gamificación, representa una oportunidad para fortalecer las competencias del pensamiento científico durante el aprendizaje de la expresión genética, facultando en los estudiantes la comprensión de los procesos que establecen el funcionamiento de los seres vivos y las relaciones a escala molecular entre diversos organismos, mediante la experimentación, el pensamiento racional para resolver retos y la interpretación de resultados. Al mismo tiempo que adquieren destrezas en el manejo de herramientas digitales con procesos de inmersión que permiten la representación de la realidad. Para ello, se precisó el nivel de competencias determinado por las pruebas del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES), se diseñó y aplicó la estrategia de aprendizaje relacionando los contenidos temáticos en las actividades gamificadas y finalmente se compararon los resultados obtenidos por los estudiantes, en busca de relaciones que permitieran explicar cómo la estrategia logró incrementar el nivel de competencias observado en la prueba de salida, donde se presenta una reducción del 70% en la proporción de estudiantes que inicialmente se ubicaban en el nivel de desempeño más bajo, resultados obtenidos efecto de la repetición de las actividades de acuerdo a la estrategia propuesta con un nivel de confianza del 90%.

Palabras clave: aprendizaje; retos; gamificación; genética; pensamiento científico.

Abstract: immersive learning using gamification represents an opportunity to strengthen scientific thinking skills during the learning of genetic expression, empowering students to understand the processes that establish the functioning of living beings and the molecular-scale relationships between various organisms, through experimentation, rational thinking to solve challenges and the interpretation of results. At the same time they acquire skills in the use of digital tools with immersion processes that allow the representation of reality. For this, the level of competencies determined by the tests of the Colombian Institute for the Evaluation of Education (ICFES) was specified, the learning strategy was designed and applied, relating the thematic contents in the gamified activities and finally the results obtained by students, in search of relationships that would explain how the strategy managed to increase the level of skills observed in the exit test, where there is a 70% reduction in the proportion of students who were initially located in the lowest level of performance, results obtained effect of the repetition of the activities according to the proposed strategy with a confidence level of 90%.

Keywords: learning; challenges; gamification; genetics; scientific thinking.

Forma de referenciar APA: Peña, C. A., Pinzón, E. H., Rueda, E. V., Calderón, J., Martínez, J. E., y Mejía, L. M. (2022). Expresión genética *in-silico* empleando gamificación y aprendizaje basado en retos. *Revista Docencia Universitaria*, 23(1), 69-86. <https://doi.org/10.18273/revdu.v23n1-2022005>

1. Introducción

La estrategia de aprendizaje inmersivo mediada por gamificación y basada en retos que se presenta en este documento está vinculada al macroproyecto: “Uso y aprovechamiento de la realidad aumentada (RA) como mediación de estrategias educativas para favorecer procesos de enseñanza y aprendizaje”, el cual se encuentra en el marco del programa de investigación “Aprendizaje Inmersivo”, del Centro de Educación Virtual CVUDES. El aprendizaje inmersivo permite potenciar la experiencia del estudiante, utilizando los beneficios de las nuevas tecnologías para crear ambientes que facilitan la interacción con un enfoque lúdico, como en este caso lo fue la gamificación, permitiendo experiencias inmersivas en los estudiantes que formaron parte del grupo intervenido.

La crisis de la educación científica (Palacín Fernández, 2015, p. 6), plantea entre otros aspectos, que las dificultades para el aprendizaje de las ciencias se centran en la comprensión de conceptos debido a ideas previas, contenidos procedimentales no tipificados y falta de habilidades metacognitivas, además de aspectos actitudinales. Lo cual concuerda con los obstáculos observados en las pruebas PISA del 2018 (ICFES, 2020) y las pruebas ICFES del 2019 y 2020 (ICFES, 2019 y 2020), en las competencias relacionadas a los procesos del entorno vivo que requieren de metacognición para la comprensión y relación de fenómenos naturales a través del pensamiento científico. Con lo anterior puede asegurarse que los principales obstáculos para el fomento del pensamiento científico durante el aprendizaje de las ciencias naturales (en el caso particular del dogma central de la biología molecular), son, motivación, habilidades de pensamiento racional, conceptualización, nivel cognitivo y la capacidad de relacionar y explicar fenómenos naturales.

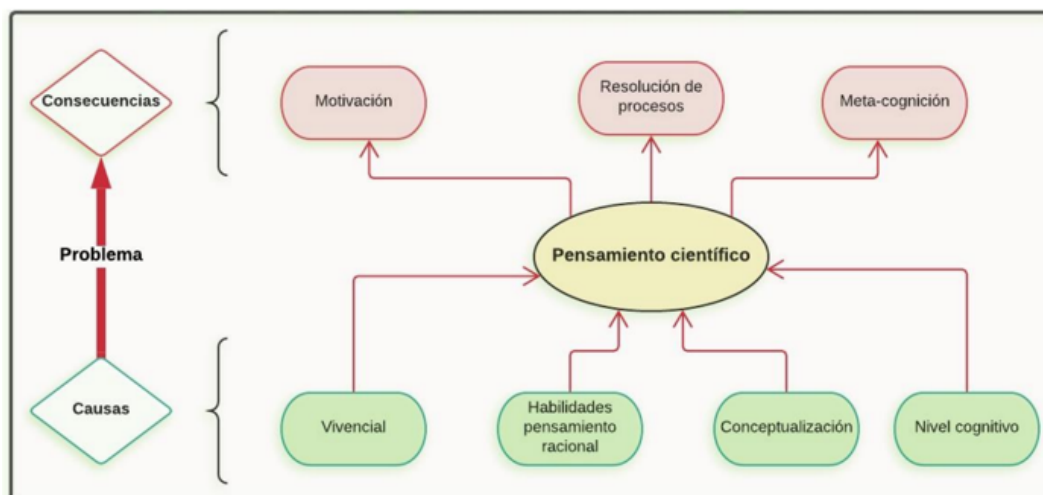
El interés, la participación y la facilidad con que se dé el aprendizaje es clave para promover las habilidades de pensamiento racional y los componentes de la metacognición, ya que favorecen la capacidad de resolver problemas, para lo cual se requiere apropiarse de nuevos conceptos, relacionar procesos y de un desarrollo mental apropiado (Palacín Fernández, 2015). Es por ello por lo que se propone un árbol de problemas para aclarar el panorama de la problemática existente, durante el aprendizaje de un proceso biológico que desencadena la expresión genética (Ver figura 1).

Tal y como se evidencia en la figura 1, el fortalecimiento del pensamiento científico se ve afectado por la carencia de experiencias vivenciales en el aula, las dificultades para conceptualizar, el bajo nivel cognitivo y las habilidades de pensamiento racional; lo que repercute en desmotivación, dificultades en la resolución de procesos y el fortalecimiento de las habilidades metacognitivas.

A partir de la problemática representada, se reconoce la necesidad de desarrollar procesos vivenciales que involucraron elementos y situaciones reales, relacionando los procesos con base en las características del aprendizaje basado en retos mediado por gamificación, el cual se propuso para resolver inicialmente la motivación, al mismo tiempo que fomentar destrezas de relación, conceptualización y aplicación de conocimientos, lo cual requiere de emplear la metacognición con el apoyo del refuerzo positivo que brindan las experiencias de cada reto en la resolución de problemas (Dichev & Dicheva, 2017).

Figura

Árbol de Problemas para *promover el Pensamiento Científico en el Aprendizaje del Dogma Central de la Biología Molecular*.



Nota. El árbol representa las causas que generan dificultades para el fortalecimiento del pensamiento científico durante el aprendizaje del dogma central de la biología molecular (recuadros verdes) y sus consecuencias (recuadros rojos).

El aprendizaje inmersivo permite simular situaciones creando escenarios interactivos que le facilitan al estudiante tener una experiencia similar a la real en un entorno virtual. La gamificación cuenta con herramientas que fomentan el aprendizaje (Morris, Croker, Zimmerman, Gill, y Romig, 2013; Sanmugam, 2017) capturando la atención del estudiante, estimulando sus sentidos, promoviendo el progreso y los resultados satisfactorios; dando sentido a las actividades, especialmente si se plantean retos que involucren situaciones reales. Enfrentar al estudiante de forma elocuente ante un reto, establece la necesidad de emplear la metacognición y por ende el pensamiento racional para resolverlo. Es así que aprovechando el apoyo de la gamificación como herramienta para fortalecer el pensamiento científico (Morris, Croker, Zimmerman, Gill, y Romig, 2013), se buscó valorar su implementación en el aprendizaje del dogma central de la biología *in silico*.

El observatorio de innovación educativa del Tecnológico de Monterrey, (2016) resume el aprendizaje basado en retos, apoyado en las características del aprendizaje basado en proyectos, el basado en problemas, la instrucción basada en retos y el challenge based learning (CBL). Su principal característica es la de dar solución a situaciones reales. Incluso en la educación formal, vinculando empresas. Por otro lado, Dichev & Dicheva, (2017) encontraron que la gamificación es un concepto multidisciplinar empleado en diversos contextos tales como, márketing, cuidado de la salud, investigación social, protección ambiental, y debido a su efecto motivador es que se viene empleando en educación. También identificaron las características que debe contener un ambiente de educativo gamificado (elementos gamificados, niveles, temática académica, actividades de aprendizaje, aprendices, tiempo de duración, recolección de datos y resultados), sin embargo, “es incierto como gamificar una actividad en un contexto educativo específico” (Dichev y Dicheva, 2017).

Teniendo en cuenta los efectos motivadores del aprendizaje inmersivo con gamificación y el aprendizaje basado en retos, aunado a “la crisis de la educación” (Palacín Fernández, 2015) se encontró que la mayoría de las experiencias educativas se presentan en la educación superior (Sanmugam, 2017), (Dichev & Dicheva, 2017), (Agüero Pérez *et al.* 2019), a expensas de su necesidad en la educación básica. Aunque Agüero Pérez *et al.* (2019), aseguran que el modelo de aprendizaje basado en retos puede ser replicado en diversos ámbitos educativos.

También se ha encontrado que puntos, insignias, retos, niveles y el tablero de posiciones son los elementos más empleados en gamificación (Sanmugam, 2017), (Barata *et al.* 2015); así mismo, no es exclusiva de la virtualidad, influencia la motivación en lugar de una conducta específica, y “representa una herramienta muy útil en el aula” (Sanmugam, 2017, p. 3). Otro ejemplo en Fleischmann & Ariel, (2020), quienes implementaron la gamificación en un ambiente educativo de ciencias naturales, y cuyos resultados los llevan a percibir que el modelo de gamificación puede sustituir muchas prácticas educativas tradicionales; ya que incrementa el conocimiento. Sin embargo, se reconoce que el efecto de los procesos de gamificación depende incluso de la personalidad de cada estudiante (Barata *et al.* 2015), ya que experimentan de diferente forma el mecanismo de gamificación del aprendizaje, debido a factores extrínsecos e intrínsecos (Bovermann & Bastiaens, 2020).

Las ventajas del aprendizaje inmersivo con el uso de la gamificación (Sanmugam, 2017), y el aprendizaje basado en retos pueden ser aplicables como estrategia para la enseñanza de la expresión genética *in silico* y el fortalecimiento de competencias como la capacidad de análisis y síntesis en estudiantes de noveno grado. Así mismo, la metacognición y el pensamiento científico encaminados al estudio del código genético facilitan la comprensión y relación de procesos que determinan el funcionamiento de los seres vivos, la experimentación y la interpretación de resultados (Morris *et al.* 2013). Al mismo tiempo que se adquiere destreza en el manejo de herramientas digitales, que brindan una experiencia cercana a la realidad donde el estudiante es el protagonista mediante el aprendizaje inmersivo.

Además, según lo expuesto por el ICFES (2019), el Ministerio de educación Nacional considera que la formación en ciencias debe favorecer el desarrollo del pensamiento científico; con lo cual, se cumple con los requisitos de seguir los lineamientos nacionales, abordar una necesidad institucional, e implementar una estrategia que fomente el aprendizaje que conlleva a la solución de problemas. En este caso, empleando el aprendizaje basado en retos mediado por gamificación para fortalecer el pensamiento científico.

Aunque el aprendizaje basado en retos mediado por gamificación es una tendencia educativa según lo expuesto por el Observatorio de Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey (2016); es poco lo que se conoce acerca de sus beneficios en los procesos de educación formal (Dichev y Dicheva, 2017; Agüero Pérez *et al.* 2019; Fleischmann & Ariel, 2020). En algunos casos, el éxito de su aplicación puede depender de aspectos actitudinales, tal y como lo propuso Fernández (2015), concordando con lo expuesto por autores, tales como Bovermann & Bastiaens (2020), quienes señalaron la influencia de características ligadas a la personalidad del usuario, el tipo de actividad, los roles, los niveles y el refuerzo positivo; coincidiendo con Barata, Gama, Pires y Gonçalves (2015). A pesar de la escasa divulgación de las experiencias que incluyen gamificación en el aprendizaje de la expresión genética, los casos de estudio y las revisiones de la injerencia del enfoque en los procesos científicos establecidas por Morris *et al.* (2013).

Lo anterior expuesto implicó que, para fortalecer el pensamiento científico en el aprendizaje del dogma central de la biología molecular, es necesario separar los procesos de la expresión genética (Andrade, 2011), e incorporarlos en un diseño estratégico mediado por gamificación;

lo cual significó un reto en el desarrollo. Integrar múltiples herramientas digitales en un ambiente virtual propende un diseño riguroso que debía cumplir con las necesidades específicas de cada usuario en un nivel determinado (Bovermann y Bastiaens, 2020). Por lo tanto, la participación es parte fundamental para el ajuste de un diseño que garantizara el aprendizaje efectivo. Es por ello que se emplearon herramientas de diagnóstico y control que garantizaron la valoración de los resultados.

Describir el efecto del aprendizaje basado en retos mediado por gamificación durante el fortalecimiento del pensamiento científico y el aprendizaje del dogma central de la biología molecular, requiere explicar cómo se fortalecen las competencias científicas a través de la gamificación, resolviendo las dificultades establecidas por las barreras actitudinales, cognitivas y aquellas establecidas por el entorno y precisando cómo influyen los elementos de la gamificación en pro de habilidades del pensamiento científico, de tal manera que, en lugar de generalizar, se analice cómo favorecer el pensamiento científico en condiciones pormenorizadas mediante un caso de estudio en el entorno educativo colombiano.

2. Metodología

La propuesta pedagógica implementada contempla la integración de diversas herramientas digitales en un ambiente de aprendizaje articulado en una red social, con el propósito de facilitar el acceso a la mayor parte de los estudiantes, debido a la situación de aprendizaje en casa mediado por tecnologías, forzado por la emergencia sanitaria. Buscando cumplir con las necesidades específicas de los estudiantes, por lo que la participación fue un componente importante para su puesta en marcha (Bovermann & Bastiaens, 2020). De modo que, buscando capturar la atención del estudiante, se procuró dar sentido a las actividades planteadas, fomentando el aprendizaje a través de la gamificación, según lo propuesto por Morris et al. (2013), procurando el planteamiento de retos que simularán situaciones reales, de manera que se pudiesen desarrollar procesos vivenciales, pretendiendo solventar inicialmente las dificultades ligadas a la motivación, al mismo tiempo que se fortalecen las capacidades de relacionar, conceptualizar y la aplicación de conocimientos en la resolución de problemas (Dichev & Dicheva, 2017).

Las actividades gamificadas se centraron en el estudiante, apuntando a la medición y evaluación de los resultados, combinando la experiencia, la cognición y el comportamiento, aprovechando el interés de los estudiantes por darle sentido práctico al aprendizaje mientras fortalecen las competencias del pensamiento científico; en virtud de que el aprendizaje basado en retos tiene sus raíces en el aprendizaje vivencial (Observatorio de innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey, 2016).

Así mismo, atendiendo a que la formación en ciencias debe fortalecer el desarrollo del pensamiento científico (ICFES, 2019), y a la importancia de que sea el estudiante quien desarrolle todo el proceso de indagación (Balderrama Campos & Padilla Martínez, 2019). La secuencia didáctica procuró inicialmente identificar los conceptos adecuados y modelos que permitieran establecer una metodología para la recolección de datos y obtención de resultados, con el objeto de que el estudiante diera respuestas a manera de conclusiones al final del proceso, incorporando hechos y conceptos, según lo propuesto por Chamizo e Izquierdo (2018).

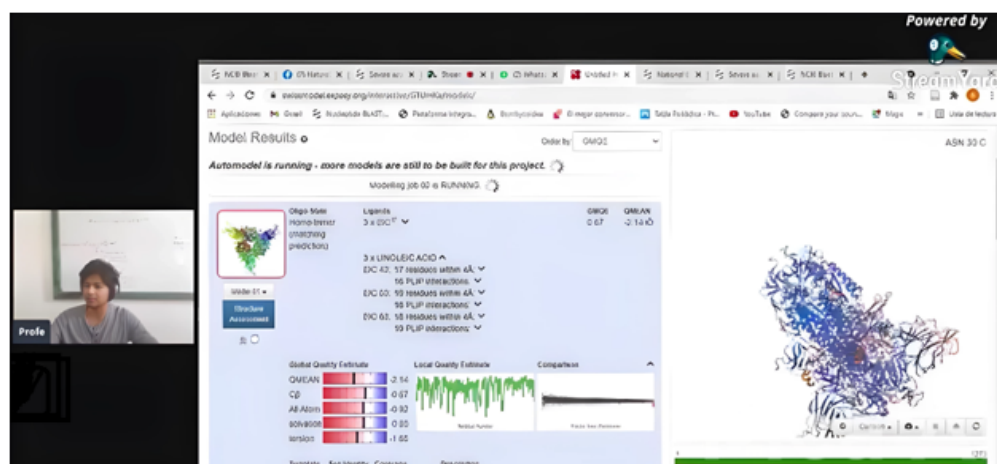
De tal manera que se propuso a los estudiantes la oportunidad de modelar una proteína real y establecer relaciones genéticas en diferentes organismos, *in silico*, como si fueran investigadores en bioinformática; lo que representa los dos grandes retos de final del curso:

1. Modelar una proteína real, empleando herramientas digitales, tal y como sucede en un laboratorio de bioinformática.
2. Contrastar la identidad de la secuencia, en busca de organismos con proteínas similares.

Una vez presentados los grandes retos, los estudiantes escogieron entre modelar una secuencia propuesta para la clase (un fragmento del gen BK6 en humanos, gene-code: EL594191.1) o buscar una proteína cualquiera. No obstante, obtener las habilidades necesarias para realizarlos (los grandes retos), requirió de cumplir con una serie de pequeños retos previos, distribuidos en tres niveles, conceptualizar, transcribir y traducir, cada uno con diferentes actividades gamificadas que los estudiantes pudieron repetir hasta obtener el puntaje máximo. De manera que el desarrollo de cada reto y cada nivel les permitió a los estudiantes conseguir los puntos suficientes para aprobar el curso, un ejemplo de la proteína graficada y de alguna de la pregunta de la prueba es presentado en la figura 1.

Figura 2

Ejemplo de la proteína graficada y de una pregunta de la prueba diagnóstica.

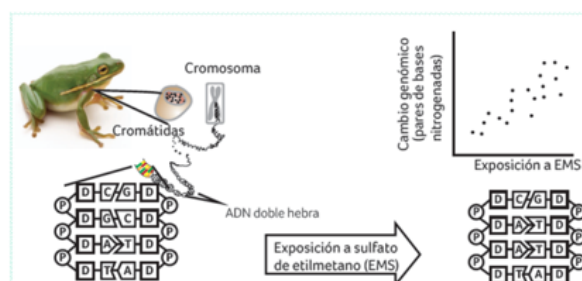


12. La replicación de ADN es un proceso en el cual se producen dos copias idénticas a la molécula de ADN original. Este proceso ocurre en todas las células y es la base de la herencia genética.

Este proceso se debe realizar.

- a. Después de la mitosis para que no haya dos copias de ADN en exceso
- b. Después de la meiosis para que cada célula hija quede con una copia de ADN
- c. Antes de la mitosis para que cada célula hija quede con una copia de ADN
- d. Antes de la meiosis para que cada célula hija quede con dos copias de ADN

13. En una convención de genética y evolución, se presenta el siguiente poster:



Con respecto al mecanismo, la estrategia comprendía cinco niveles que se desarrollaron secuencialmente, los tres primeros incluyeron actividades gamificadas y los dos últimos fueron los dos grandes retos. Cada nivel involucró retos diferentes que los estudiantes abordaron para obtener el puntaje mínimo aprobatorio del curso. Sin embargo, también obtuvieron puntos por asistir a las sesiones de clase, por quedar en el podio de las actividades gamificadas y por las medallas de participación; elementos del juego que se socializaron a los estudiantes, de tal manera que los estudiantes debían de obtener en cada nivel, los puntos que les permitieran evidenciar el fortalecimiento de las competencias específicas, requeridas para desarrollar los dos grandes retos. Por consiguiente, tuvieron que realizar las actividades gamificadas contenidas en los tres primeros niveles.

Algunos aspectos importantes de cada elemento se presentado a continuación:

1. El primer nivel correspondió al reto de conceptualización, en el cual llevaron a cabo tres actividades que requerían reconocer la estructura molecular de los nucleótidos, relacionar las secuencias genéticas y ordenar el proceso de la expresión genética.
2. El segundo nivel se denomina reto de transcripción, e involucró cuatro actividades gamificadas de relacionar que reforzaron las interacciones que se dan entre ribonucleótidos y desoxirribonucleótidos. En la primera se les pidió emparejar los cuatro desoxirribonucleótidos atendiendo a las reglas de Chargaff (replicación básica); en la segunda asociarlos en un mosaico (refuerzo de la replicación); en la tercera, reconocer la relación entre los ribonucleótidos (transcripción básica); y finalmente, juntarlos de la misma forma en que se hizo el refuerzo de la replicación (refuerzo de la transcripción).
3. Por último, en el tercer nivel llamado traducción, se debía efectuar dos actividades, un crucigrama y un test (traducción y refuerzo de traducción respectivamente), que además de estar gamificadas, requerían del uso de herramientas tales como, la tabla de codones y el código de una letra para determinar aminoácidos.
4. Una vez superados los tres niveles iniciales, los estudiantes aplicaron los conocimientos expuestos en las sesiones de clase y las habilidades adquiridas durante el desarrollo de los retos, para llevar a cabo el primer gran reto, modelar la proteína BK6 (una sub-unidad de la queratina del cabello humano), y comparar su identidad en otros organismos vivos (segundo gran reto), con el apoyo de herramientas digitales.
5. El componente tecnológico de la estrategia integró siete herramientas tecnológicas, dos para establecer el entorno de aprendizaje (Facebook y Streamyard), dos para el establecimiento del diagnóstico ([Formatos de google](#) y [Kahoot](#)), una para el desarrollo de las actividades gamificadas (Educaplay), y dos para el cumplimiento de los retos (Swiss-Model y Blast).
6. Los instrumentos empleados para medir los indicadores de variables y realizar las actividades contó con nueve actividades gamificadas con Educaplay ([Create Play & Learn S.L., 2021](#)), y los dos grandes retos. Las actividades gamificadas se distribuyeron entre los primeros tres niveles descritos de la siguiente forma, tres en el nivel de conceptualización, cuatro en transcripción y dos en traducción. Mientras que los grandes retos quedaron sujetos a la aplicación de herramientas digitales tales como, Swiss-Model ([Waterhouse, 2018](#)); Blast ([Sayer et al. 2018](#)) y la respectiva explicación de los resultados obtenidos. Un resumen de las actividades de la estrategia es presentado en la Tabla I.

Tabla 1

Actividades de la estrategia

#	Actividad
1	Herramientas digitales de acceso
2	Formulario Google de Saberes previos
3	Examen diagnóstico (Quiz Kahoot)
1	Actividad gamificada con <i>Educaplay</i> para el reconocimiento de las diferencias moleculares entre el ADN y el ARN
2	Actividad gamificada con <i>Educaplay</i> , referente al reconocimiento de las secuencias del código genético, relacionando la codificación de cada tipo de secuencia.
3	Actividad gamificada con <i>Educaplay</i> , que conlleva a establecer el orden de los eventos que fundamentan el dogma central de la biología
1	Actividad gamificada para el reconocimiento del principio básico de la replicación, empleando las reglas de <i>Chargaff</i>
2	Videos explicativos de la funcionalidad de las principales proteínas que interactúan con las cadenas nucleotídicas.
3	Actividad gamificada que refuerza la actividad de la proteína polimerasa mediante el apareamiento de los nucleótidos durante la replicación (actividad polimeraza)
4	Video de apoyo para representar una animación de la replicación genética
5	Video descriptivo de la transcripción genética
6	Actividad gamificada para medir el alcance de la sesión, en la comprensión estudiantes de las relaciones ribonucleotídicas en los estudiantes.
1	Código de acceso a la secuencia de RNAm que codifica para la proteína BK6 en queratinocitos humanos
4	Actividad gamificada que diferencia entre traducción y retraducción
3	Actividad de consolidación y refuerzo de las competencias necesarias para comprender el código genético
5	Herramientas digitales de acceso al entorno virtual de aprendizaje
1	Servidor de modelamiento de proteínas (Swiss-Model)
6	Herramienta digital de comparación de secuencias genéticas y de proteínas (BLAST)
1	Servidor de modelamiento de proteínas (Swiss-Model)
7	Herramienta digital de comparación de secuencias genéticas y de proteínas (BLAST)
3	Base de datos de secuencias genéticas del centro nacional para la información de biotecnología (GenBank-NCBI)
8	Actividad gamificada de cierre que compila todos los ejercicios llevados a cabo en <i>Educaplay</i> , para fortalecer la conceptualización y relación de procesos.
1	Herramientas digitales de acceso al entorno virtual de aprendizaje
9	Examen final (Quiz Kahoot)

7. La propuesta incorporó elementos del juego que permitieron gamificar la estrategia de aprendizaje, tales como, la sorpresa, con actividades diferentes y la entrega inesperada de medallas producto de la actitud de los estudiantes; el progreso, debido a la secuencia jerárquica en los niveles; las restricciones de tiempo ligadas al componente tecnológico usado; el podio y el tablero de posiciones, ya que permiten un estatus visible; la realimentación inmediata, además de la socialización continua de los estadísticos del progreso en los retos; la recompensa con los puntos y las medallas y también la libertad de equivocarse y la de elegir qué modelar.
8. Por consiguiente, se recopilaron datos que implican variables cualitativas y cuantitativas, lo que permitió un análisis riguroso, se contrastaron los resultados para una mejor discusión con respecto a la medida de la incidencia del diseño propuesto, en el fortalecimiento de competencias referentes a la relación, indagación y explicación de los procesos relacionados con la expresión genética, empleando actividades ajustadas a los parámetros del aprendizaje basado en retos, usando gamificación.
9. De tal forma que se indago en los conocimientos previos presentes en la muestra de estudio (los estudiantes de grado noveno de la IE), estableciendo la línea base de la muestra, es decir, una prueba previa que permitió reconocer no sólo la percepción del estudiante respecto a una temática particular (en este caso las relacionadas con la expresión genética), también el nivel de las competencias del pensamiento científico que se esperaban fortalecer, la distinción de cada una, las relaciones que lograban establecer, conceptos conocidos y desconocidos, y la explicación que lograron dar a los fenómenos.
10. La implementación de la estrategia basada en retos repercutió directamente en la toma de datos, puesto que representa diferentes escenarios para el registro de la información requerida y pertinente, permitiendo recopilar aspectos relevantes durante la puesta en marcha de la intervención, lo que favoreció el análisis y dio soporte a la estrategia.
11. Finalmente, la valoración del proceso recayó en el análisis de las relaciones entre las características seleccionadas (variables) y la medición del progreso durante la implementación de las actividades, que procuran el fortalecimiento de las competencias científicas en la muestra. Lo que implicó una evaluación continua de los retos propuestos.

Según el interés de la investigación y los alcances planteados, la metodología con enfoque experimental permitió probar el efecto de las variables independientes sobre las dependientes con criterio estadístico. Una de las ventajas derivó en la libertad para adaptar el proceso a un contexto determinado, aportando en la riqueza interpretativa y la precisión del método; lo que permitió relacionar las observaciones, facilitando la discriminación de los datos en búsqueda de una explicación que aplicara a toda la muestra.

La gran variedad de instrumentos de medición se empleó en el diseño experimental, el cual, posibilitó la complementariedad de los resultados. Combinar datos, las ventajas de cada proceso y la relación de los indicadores de variable, empleando un análisis multivariado, apoyado en la medición multimodal. Lo que incrementó la confianza en el análisis.

Las variables se midieron empleando recursos digitales debido al contexto de la emergencia sanitaria (SarsCov-19). Las variables conocidas se encuentran anidadas, ya que en cierto grado dependen unas de otras, como la indagación, competencia que depende del contexto y la capacidad de relacionar procesos. Sin embargo, se reconoció la independencia de las variables, en términos de los resultados de las actividades gamificadas que implican relación de procesos e indagación; competencias que involucran la aplicación del conocimiento en el establecimiento de relaciones entre diferentes organismos, empleando herramientas digitales. Sin embargo, dicha independencia se valoró en el análisis estadístico, por tal motivo, se presentan las variables sin pormenorizar su dependencia o independencia, hasta que el análisis exploratorio de las variables determine la relación de estas.

Las relaciones entre variables que permitieron reconocer la incidencia de la estrategia de aprendizaje propuesta se cuantifican a partir de las variables continuas indicadoras. Es así como, en el análisis exploratorio de las variables se propuso un análisis multivariado que permitió establecer los componentes que mejor explicaban el efecto de la estrategia metodológica y la relación entre las principales variables que se lograron identificar durante la búsqueda del fortalecimiento de las competencias científicas.

Los indicadores de variables que miden la relación de procesos e indagación, se midieron a través de los cinco niveles propuestos (conceptualización, transcripción, traducción y modelamiento de proteínas y relación de secuencias); estos se desarrollaron de forma secuencial, debido a que cada uno representa una mayor complejidad, acorde al incremento en el nivel de desempeño indicado para cada dimensión de las variables con tres actividades gamificadas acorde con la temática que permitieron medir el nivel de desempeño al momento de reconocer, identificar y ordenar. En ese mismo sentido, el nivel de replicación y transcripción mide el fortalecimiento del pensamiento científico, ya que requiere, además de reconocer, identificar y ordenar, de analizar, aplicar y comprender.

Por consiguiente, el nivel tres (traducción), implicó todos los niveles de desempeño indicados para las dimensiones de las variables relación de procesos e indagación, excepto explicación de procesos, puesto que este se midió en los niveles cuatro y cinco junto con el desarrollo de los grandes retos (modelar y comparar). Cabe aclarar que todas las actividades desarrolladas en cada nivel fueron medidas en una escala de cero a cien.

Los instrumentos empleados para medir los indicadores se clarificaron en las nueve actividades gamificadas y los dos grandes retos; distribuidos secuencialmente según el nivel de complejidad, de la siguiente forma, tres actividades en el nivel de conceptualización (reconocimiento de estructuras, de secuencias y orden del proceso), cuatro en el nivel de transcripción (replicación básica, de refuerzo, transcripción básica y su refuerzo), y dos en traducción (básica y refuerzo); mientras que los grandes retos, aquellos que implican la explicación del proceso estudiado, corresponden al modelamiento de una proteína seleccionada y la comparación de secuencias genéticas en diversos organismos (Ver tabla 2).

Tabla 2

Relación de instrumentos empleados para medir el nivel de desempeño indicado para cada variable en la competencia de pensamiento científico

Variable	Dimensiones	Instrumentos
Indagación	Indagación genética	Actividades gamificadas
		• Conceptualización
		• Reconocer estructuras y secuencias
		• Orden del proceso
		• Replicación
		• Básica y Refuerzo
		• Transcripción
		• Básica y Refuerzo
		• Traducción
		• Básica y Refuerzo
		• Grandes retos
		• Modelamiento de proteínas
		• Comparación de secuencias

Relación de procesos	Relaciona procesos de expresión genética • Reconoce • Ordena • Explica • Aplica	Actividades gamificadas • Conceptualización • Reconocimiento de estructuras • Reconocimiento de secuencias • Orden del proceso • Replicación • Básica y Refuerzo • Transcripción • Básica y Refuerzo • Traducción • Básica y Refuerzo • Grandes retos • Modelamiento de proteínas • Comparación de secuencias
	Establece relaciones entre organismos a través de la expresión genética • Reconoce • Explica • Aplica	Grandes retos • Modelamiento de proteínas • Comparación de secuencias

Las actividades gamificadas o juegos y los retos propuestos para fortalecer las competencias del pensamiento científico durante el estudio de la expresión genética, hacen referencia a la temática de estudio, el dogma central de la biología molecular; la cual involucra, desde el reconocimiento de las estructuras moleculares que intervienen en el proceso, ácido desoxirribonucleico (ADN), ácido ribonucleico (ARN) y la cadena de aminoácidos (proteína); pasando por la relación que se da entre éstas moléculas que forman el código genético (Andrade, 2011); hasta su aplicación, empleando herramientas digitales para el modelamiento de proteínas y la explicación del proceso, junto con las implicaciones de la presencia de estas moléculas (ADN, ARN y proteínas) en todos los organismos vivos.

Finalmente, para corroborar la independencia entre las variables, se correlacionaron los resultados obtenidos en cada uno de los instrumentos empleados para medir el desempeño indicado en cada dimensión de la variable indagación, junto con los de la variable relación de procesos, en busca de relaciones que evidencian el fortalecimiento de las competencias científicas y los componentes que explican la incidencia de la estrategia de aprendizaje.

En suma, la manipulación de los datos se centró en un análisis exploratorio empleando el software estadístico R, lo cual favoreció la determinación de la relación de los datos cuantitativos a través de pruebas no paramétricas. Mientras que la pertinencia y relación de las variables observadas, se determinó empleando test paramétricos, procurando fijar la atención en los resultados arrojados por los análisis multivariados, permitiendo reconocer los componentes principales que mejor explican la variación y relación de la muestra. De esta forma, se pudo priorizar las características susceptibles de explicación bajo los referentes teóricos para el contraste de la hipótesis planteada, y la medición de la incidencia de la estrategia. Finalmente, se realizó la evaluación de la efectividad de la estrategia, contrastando los resultados obtenidos en las pruebas estandarizadas de diagnóstico y salida.

3. Resultados

Los resultados arrojados por las preguntas estandarizadas tomadas de las pruebas de estado para establecer la línea base de la población objeto de estudio, permitieron precisar el nivel de desempeño de las competencias de pensamiento científico que presentaban los estudiantes antes de implementar la estrategia de aprendizaje basado en retos mediado por gamificación, durante el aprendizaje del dogma central de la biología molecular, ya que las preguntas seleccionadas de la prueba requerían del uso de las habilidades de indagación y relación de procesos, que fue la competencias que se propuso fortalecer durante el planteamiento de la estrategia.

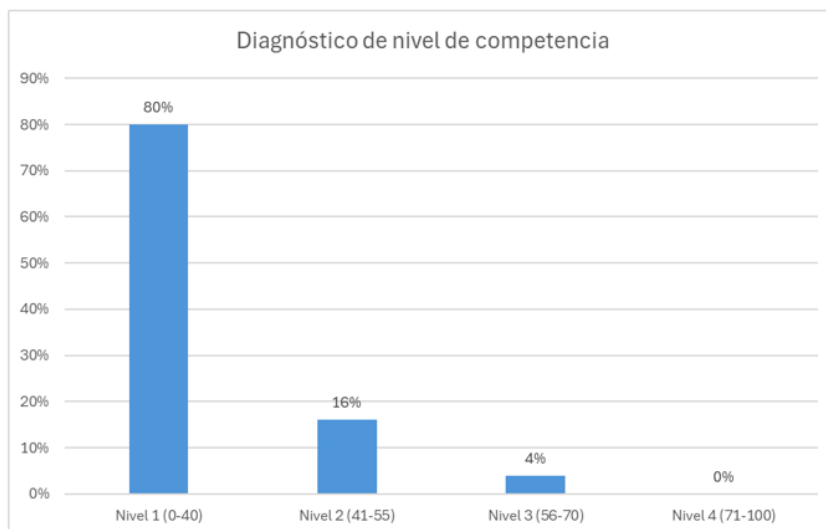
Las preguntas realizadas iban enfocadas a los siguientes aspectos:

1. Dificultades al momento de estudiar
2. Autonomía para disponerse a estudiar
3. Uso de herramientas digitales
4. Gusto por el estudio de la genética
5. Nivel de entretenimiento con la genética
6. Nivel de entretenimiento con la genética
7. Interés por ahondar en la genética
8. Aprendizaje en el tiempo libre
9. Diferencia molecular entre el ADN y el ARN
10. Relación entre el ADN y el ARN
11. Identificación estructuras celulares involucradas en el proceso
12. Reconocimiento de estructuras moleculares del código genético

El resultado de la prueba permitió dar cuenta de que el 80% de los estudiantes se encontraba en el nivel de desempeño 1, el 16% en el nivel 2 y el 4% en el nivel 3. Como se ve en la figura 2, ninguno de los estudiantes alcanzó el nivel de desempeño 4, en consecuencia, la línea base establecida tras la medición del nivel de las competencias en los estudiantes, producto de la aplicación de preguntas estandarizadas, brindó la oportunidad de implementar la estrategia de aprendizaje propuesta (aprendizaje basado en retos mediado por gamificación), para fortalecer las competencias del pensamiento científico en estudiantes con bajos niveles de desempeño. Ratificando los resultados referenciados en este diagnóstico y en las pruebas externas.

Figura 3

Diagnóstico del nivel de competencias en estudiantes de grado noveno.



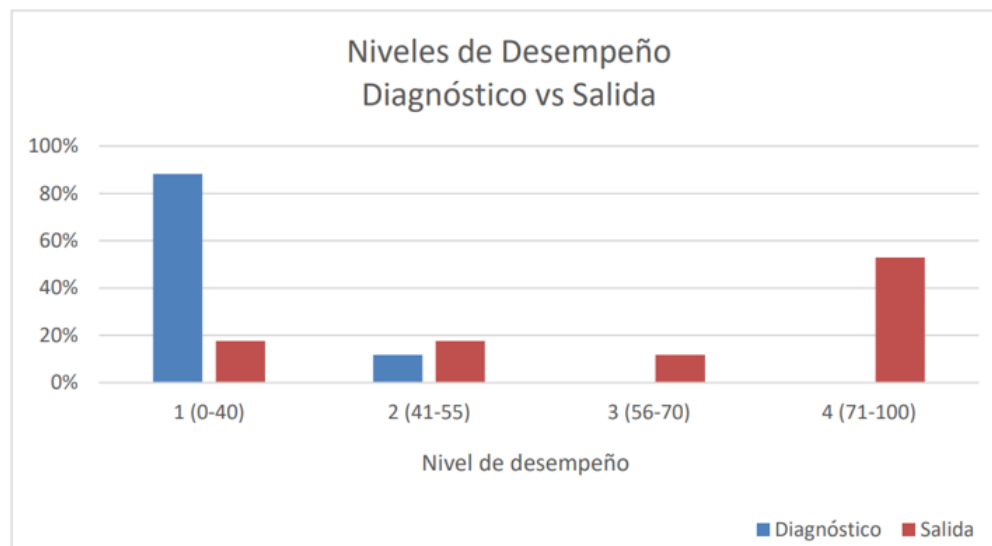
Nota. El nivel de competencias se midió empleando preguntas estandarizadas tomadas de las pruebas de estado (2010, 2014, 2015 y 2018), relacionadas con el dogma central de la biología molecular, que requerían del uso de relación de procesos e indagación.

Durante el análisis de la información recabada a partir de las actividades gamificadas correspondientes a los niveles 1, 2, 3 y 4, previos a los dos grandes retos, se tuvo en cuenta dos grupos de datos, en el primero de ellos se evaluó la relación entre el número de intentos y el máximo resultado obtenido por los estudiantes. Es decir, la “cantidad de veces que un estudiante realizó una determinada actividad gamificada” con “el mayor de los resultados obtenidos” en cada una de ellas, incluyendo la prueba diagnóstica de competencias y la de salida (ver apéndices B y C); que fueron gamificadas con Kahoot, además de los grandes retos (modelamiento de proteínas y comparación de secuencias). Mientras que en el segundo set de datos solo se relaciona el máximo resultado obtenido en cada una de las actividades, retos y pruebas (diagnóstico y salida).

Inicialmente, se contrastó los resultados obtenidos en las pruebas de entrada y salida, aquellas empleadas para determinar el nivel de desempeño de los estudiantes, mediante preguntas estandarizadas elaboradas por el ICFES que permitieron evidenciar el efecto general de la estrategia, ya que establecen el estado de las competencias antes y después de su implementación. Es por ello, que en este análisis se testea el efecto de los elementos del juego incorporados en las actividades gamificadas, como variables independientes, sobre la incidencia de la estrategia en el fortalecimiento de las competencias del pensamiento científico. Este análisis se llevó a cabo teniendo en cuenta los resultados obtenidos por los estudiantes que realizaron al menos el 80% de las actividades. De esta forma, se obtuvo tal y como se evidencia en la figura 3, que antes de la aplicación, cerca del 88% de los estudiantes se encontraban en el nivel de desempeño uno (nivel 1), y el 12% restante en el dos (nivel 2). En concordancia con los resultados evidenciados en las pruebas externas (ICFES, 2020).

Figura 4

Contraste de Nivel de Desempeño de los Estudiantes.



Nota. La figura evidencia la proporción de estudiantes en un nivel de desempeño de competencias determinado, antes y después de la aplicación de la estrategia de aprendizaje. Diagnóstico, hace referencia a los resultados obtenidos en la prueba de entrada, realizada antes de aplicar la estrategia de aprendizaje, mientras que, salida, indica los resultados obtenidos en la prueba de salida, aquella efectuada al final del proceso para evaluar la incidencia de la estrategia de aprendizaje.

Por otro lado, la prueba de salida evidenció un incremento en el nivel de desempeño de las competencias evaluadas, ya que aproximadamente el 65% de los estudiantes se ubicó en los niveles tres (nivel 3) y cuatro (nivel 4). Cabe resaltar que la mayor parte de los estudiantes finalizó en el nivel de desempeño 4, nivel en el que no se encontró a ningún estudiante antes de la aplicación de la estrategia de aprendizaje. Así mismo, se puede afirmar que se redujo la proporción en el nivel de competencias uno (nivel 1), en un 70%. Lo anterior expuesto hasta ahora, genera confianza en el diseño experimental propuesto para el análisis de los resultados, ya que se evidencia el efecto de las actividades gamificadas en el fortalecimiento de las competencias abordadas.

Ahora, con el objeto de explicar los resultados obtenidos se calculó la cantidad de participantes por actividad, la cantidad de intentos por estudiante para pasar a la siguiente etapa y el promedio obtenido en cada una (ver tabla 2), y se procedió a realizar el análisis exploratorio de estos consolidados, encontrando que:

1. Los indicadores de variables están correlacionados (las actividades gamificadas).
2. Teniendo en cuenta el número de intentos, los primeros cinco componentes logran explicar poco más del 80% de la variación de los resultados obtenidos., mientras que sin tener en cuenta el número de intentos, los primeros cinco componentes explican el 83% de los datos.

Tabla 3*Consolidado de resultados de las actividades realizadas*

#	Sigla	Descripción	Puntaje promedio	Número de intentos por estudiante	Cantidad Estudiantes
1		Diagnóstico	31		13
2		Salida	67		16
3	E	Actividad de reconocimiento de estructuras	44	2	17
4	RS	Actividad de reconocimiento de secuencias	50		17
5	OP	Actividad de ordenar la secuencia de los procesos generales que llevan a la expresión genética	59	8	16
6	RB	Actividad básica de replicación	80	2	17
7	RR	Actividad de refuerzo de la replicación	71	8	17
8	TB	Actividad básica de transcripción	91	2	17
9	TR	Actividad de refuerzo de la transcripción	56	1	16
10	TRA	Actividad básica de traducción	93	9	15
11	TRAR	Actividad de refuerzo de la traducción	52	5	17
12	R	Actividad de resumen de juegos	64	3	16
13	BR1	Reto de modelar una proteína	78		9
14	BR2	Reto de comparar una secuencia	85		7

- Al contar con la cantidad de veces que los estudiantes procuraron realizar las actividades gamificadas, se pudo evidenciar, tras un análisis colineal múltiple, que los tres primeros componentes explican los resultados de la prueba de salida, con un nivel de confianza superior al 90%. Además, el primer componente también guarda una fuerte colinealidad con la prueba diagnóstica, de la misma forma que también explica los resultados obtenidos por los estudiantes en el reto de modelamiento de proteínas y comparación de secuencias.
- Sin tener en cuenta el número de intentos llevados a cabo por los estudiantes para realizar las actividades, se pudo hallar que las actividades gamificadas de refuerzo de la transcripción y de replicación, co-varían en una proporción del 60%. Así mismo se detectó que los primeros componentes explican el 83% de la variación de los datos. Entre estos, el cuarto está fuertemente relacionado con los resultados de la prueba diagnóstica (con un P-valor de 0,0007). Al igual que el quinto componente, con un nivel de confianza del 90%. Los resultados obtenidos en el reto de comparación de secuencias se relacionan con el primer componente con un nivel de significancia del 0,05. El nivel de confianza del 90% que los resultados obtenidos guardan relación con la prueba diagnóstica.
- Se puede señalar que el abordaje de la gamificación centrada en el estudiante, puntualizando en los resultados y en las medidas empleadas para evaluarlos, según lo propuesto por Dichev y Dicheva, (2017); aprovecha el interés intrínseco para sacar ventaja en el interés extrínseco. Es decir, valiéndose de las inclinaciones de los estudiantes hacia el juego se pueden satisfacer sus requerimientos formativos en cuanto a fortalecimiento de competencias, a través de la relación de procesos y el propósito, como lo propuso Bovermann y Bastiaens, (2020), lo que ratifica el fortalecimiento de dicha competencia a la luz de los resultados (relación de procesos).

4. Conclusiones

La estrategia de aprendizaje inmersivo, mediada por gamificación basada en retos, se llevó a cabo con una muestra de los estudiantes de grado noveno del Colegio San Luis Gonzaga, correspondiente al número de estudiantes que realizaron el 80% de las actividades diseñadas. Cuyo nivel de competencias se determinó empleando preguntas estandarizadas tomadas de las pruebas de estado de los últimos cinco años, que guardan relación con la competencia relación de procesos y la temática de la expresión genética.

Las actividades gamificadas y los retos planteados, se diseñaron con el objeto de que los estudiantes tuviesen que acudir a las competencias de relación e indagación; durante su desarrollo. Sacando provecho de la implementación de los elementos del juego tales como, niveles, puntos, libertad de equivocarse y los incluidos en las herramientas digitales, para favorecer la motivación intrínseca que permite a los estudiantes disponerse al aprendizaje.

Los resultados de la prueba de salida evidenciaron un incremento en el nivel de desempeño de los estudiantes, ya que, en la prueba de entrada la mayoría se encontraba en el nivel uno y dos, mientras que al final se presentó una mayor proporción de la muestra en el nivel cuatro, lo cual es de particular interés como evidencia del fortalecimiento del pensamiento científico a través de la relación de procesos usando gamificación y aprendizaje basado en retos, debido a que inicialmente ningún estudiante se encontraba en este nivel.

La variación de los datos si está relacionada y explica los resultados obtenidos tanto en los retos planteados como en la prueba de salida. Incluso, algunos guardan relación lineal con un alto nivel de confiabilidad. Además, al resumir los indicadores de variables, estos explican el 83% de la variación de los datos. Lo que implica que la incidencia de la estrategia se debe a la correspondencia entre las actividades y retos diseñados, con las competencias del pensamiento científico y el aprendizaje del dogma central de la biología molecular.

El aprendizaje inmersivo facilita la comprensión de los fenómenos en estudio por medio de la experimentación, brindando a los estudiantes experiencias similares a la realidad mediante el uso de herramientas virtuales. Permite a los estudiantes ser protagonistas de su propio aprendizaje a través de una experiencia inmersiva.

Finalmente, los resultados son mejor explicados teniendo en cuenta el número de intentos que requirieron los estudiantes para realizar las actividades. Con esto se infiere que la generación de confianza favorece el desempeño de los estudiantes y la incidencia de la estrategia en el fortalecimiento de las competencias.

Referencias

- Agüero Pérez, M. M., López Fraile, L. A., & Pérez Expósito, J. (2019). Challenge Based Learning as a Professional Learning Model. Universidad Europea and Comunica +A program case study. *Vivat Academia*, (149), 1-24.
- Andrade, E. (2011). La dualidad análogo digital de la información se ejemplifica en el estudio de las moléculas de RNA. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3) 15-42. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v16n3/v16n3a2.pdf>

- Balderrama Campos, J. L., & Padilla Martínez, K. (2019). Developing Scientific Thinking Skills Through Teaching Chemical Reaction With Inquiry Based Teaching. *Educación Química*, 30(1), 93-110.
- Barata, G., Gama, S., Pires, J., & Gonçalves, D. (2015). Gamification for Smarter Learning: tales from trenches. *Smart Learning Environments*, 2(10), <https://doi.org/10.1186/s40561-015-0017-8>
- Bovermann, K., & Bastiaens, T. (2020). Towards a motivational design? Connecting. *RPTEL*, 15(1), <https://doi.org/10.1186/s41039-019-0121-4>
- Chamizo, J. A., Izquierdo, M. (2018). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Educación Química*, 18(1), 6. doi:10.22201/fq.18708404e.2007.1.65971
- Create Play & Learn S.L. (2021). *Educaplay*. Obtenido de Educaplay, www.educaplay.com
- Dichev, C., & Dicheva, D. (2017). Gamifying education: what is known, what. *Int J Educ Technol High Educ*, 14(9), <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0042-5>
- Fleischmann, K., & Ariel, E. (2020). Gamification in Science Education: Gamifying Learning of Microscopic Processes in the Laboratory. *Contemporary educational technology*, 7(2), 138-159.
- ICFES (2010). Prueba de Biología. En ICFES, *ICFES mejor saber - Ejemplos de Pregunta*.
- ICFES (2014). *Cuadernillo de Preguntas Saber 11.º Prueba de Ciencias Naturales*. Bogotá.
- ICFES (2015). *Ciencias Naturales. Simulacro Prueba Saber 9º* (p 5). Dirección de Evaluación, Icfes. Obtenido de: <https://www.instruimos.com/index.awp?awpidf5fbad6a=05810e80f54b76b47383fbb54a15cbe5c6baf37c>
- ICFES (2018). *Cuadernillo de Preguntas Saber 11 Prueba de Ciencias Naturales*. Dirección de Evaluación, Icfes. Obtenido de www.icfes.gov.co
- ICFES (2019). *Marco de referencia de la prueba de ciencias naturales saber 11º*. Dirección de Evaluación, Icfes.
- ICFES (2020). *Informe Nacional de Resultados para Colombia - Pisa 2018*. Dirección de Evaluación, Icfes
- Kahoot (21 de junio de 2021). *Kahoot*. Obtenido de Kahoot: <https://kahoot.com/company/>
- Morris, B., Croker, S., Zimmerman, C., Gill, D., & Romig, C. (2013). Gaming science: the “Gamification” of scientific thinking. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-16. <http://www.frontiersin.org/Psychology/editorialboard>
- Sayer, E. et al. (2018). Database resources of the National Center for Biotechnology Information. *Nucleic Acids Res*, 50(1), 20-26. <https://doi.org/10.1093/nar/gkab112>

- Observatorio de innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey (2016). *Aprendizaje basado en Retos*. EduTrends
- Palacín Fernández, M. (2015). *Propuesta didáctica para abordar los contenidos de Genética y Biología Molecular en 4º de la ESO utilizando el enfoque de Investigación Dirigida*. [Trabajo de maestría]. Gijón, Universidad Internacional de La Rioja, España.
- Sanmugam, M. (2017). *Effects of gamification on achievement, engagement and intrinsic motivation among students of different player traits in science learning*. [Doctoral dissertation] Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Education.
- Waterhouse, A. B. (2018). SWISS-MODEL: homology modelling of protein structures and complexes. *Nucleic Acids Res*, 46, 296-303. <https://doi.org/10.1093/nar/gky427>