



# Niveles de desempeño de los estudiantes en el fortalecimiento de la competencia científica. Explicación de fenómenos sobre genética molecular





- Student Performance Levels in Strengthening Scientific Competence in Explaining Phenomena on Molecular Genetics
- Níveis de desempenho dos alunos no fortalecimento da competência científica na explicação de fenômenos em genética molecular

## Forma de citar este artículo

Chávarro-Trujillo, E. F. y Delgado-Venegas, H. J. (2026). Niveles de desempeño de los estudiantes en el fortalecimiento de la competencia científica. Explicación de fenómenos sobre genética molecular. *Tecné, Episteme y Didaxis, TED*, (59), 190 - 207. <https://doi.org/10.17227/ted.num59-23023>

## Resumen

En este artículo se presentan los resultados de una investigación en donde se describen los cambios en las construcciones explicativas (escritas) de un grupo de estudiantes de 9° de secundaria sobre fenómenos relacionados con genética molecular, luego de la implementación de una unidad didáctica mediada por el modelo de aprendizaje basado en problemas (ABP). La metodología cualitativa de alcance descriptivo se abordó desde la estructuración de *niveles de desempeño explicativo* sobre conceptos de genética molecular que comprendió la adaptación de la rúbrica propuesta por PISA (2015), que establece el índice de rendimiento para la competencia 'explicación de fenómenos científicamente'. Se aplicaron dos instrumentos para la recolección de datos y su triangulación: un cuestionario abierto que planteaba situaciones relacionadas con fenómenos sobre genética molecular, antes y después de la intervención didáctica para identificar los niveles de desempeño explicativo, y una entrevista semiestructurada que permitió conocer los aportes que dejó la intervención desde la

Eddy Freddy Chávarro-Trujillo\*    
Héctor Javier Delgado-Venegas\*\*  

\* Magíster en Enseñanza de las Ciencias, Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia. Especialista en Pedagogía, Universidad de la Amazonía. Licenciado en Educación Ambiental y Desarrollo Comunitario, Universidad Santo Tomás. Docente, Secretaría de Educación del municipio de Florencia, Caquetá, Colombia. [eddyf.chavarrot@autonoma.edu.co](mailto:eddyf.chavarrot@autonoma.edu.co)

\*\* Magíster en Enseñanza de las Ciencias, Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia. Físico, Universidad de Nariño. Especialista en Ética y Pedagogía, Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Docente, Secretaría de Educación del municipio de Tuluá, Valle, Colombia. [hectorj.delgadov@autonoma.edu.co](mailto:hectorj.delgadov@autonoma.edu.co)

Artículo de investigación

Fecha de recepción: 01/04/2025  
Fecha de aprobación: 01/12/2025  
Fecha de publicación: 01/01/2026



perspectiva de los estudiantes participantes. En la evidencia recuperada se puede apreciar que algunos estudiantes mejoraron la habilidad para construir explicaciones científicas, a su vez que incorporan conocimientos nuevos acerca del modelo biomolecular en genética.

Palabras clave

aprendizaje basado en problemas; competencia científica; genética molecular; niveles de desempeño explicativo

### Abstract

This article presents the results of a research study that describes the changes in the written explanatory constructions of a group of 9th grade secondary school students on phenomena related to molecular genetics, after the implementation of a teaching unit mediated by the problem-based learning (PBL) model. The qualitative methodology of descriptive scope was approached from the structuring of explanatory performance levels on molecular genetic concepts, which included the adaptation of the rubric proposed by PISA (2015), which measures the performance index for the competency 'explaining phenomena scientifically'. Two instruments were applied for data collection and triangulation: an open questionnaire that posed situations related to molecular genetic phenomena, before and after the teaching intervention to identify the levels of explanatory performance, and a semi-structured interview that allowed us to know the contributions made by the intervention from the perspective of the participating students. The evidence recovered shows that some students improved their ability to construct scientific explanations, while also incorporating new knowledge about the biomolecular model in genetics.

Keywords

project based learning; scientific competence; molecular genetics; levels of explanatory performance

### Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que descreve as mudanças nas construções explicativas escritas de um grupo de alunos do 9º ano do ensino médio sobre fenômenos relacionados à genética molecular, após a implementação de uma unidade de ensino mediada pelo modelo de aprendizagem baseada em problemas (ABP). Abordou-se a metodologia qualitativa de escopo descritivo a partir da estruturação de níveis de desempenho explicativo sobre conceitos de genética molecular, que incluiu a adaptação da rubrica proposta pelo PISA (2015), que estabelece o índice de desempenho para a competência 'explicação científica de fenômenos'. Para a coleta e triangulação de dados, foram aplicados dois instrumentos: um questionário aberto que propôs situações relacionadas a fenômenos genéticos moleculares, antes e depois da intervenção de ensino para identificar os níveis de desempenho explicativo, e uma entrevista semiestruturada que permitiu conhecer as contribuições da intervenção na perspectiva dos alunos participantes. As evidências recuperadas mostram que alguns alunos melhoraram sua capacidade de construir explicações científicas, ao mesmo tempo em que incorporaram novos conhecimentos sobre o modelo biomolecular em genética.

Palavras-chave

aprendizagem baseada em problemas; competência científica; genética molecular; níveis de desempenho explicativo

## Introducción

La explicación es trascendental en la enseñanza de las ciencias naturales. La construcción de explicaciones en el aula escolar es fundamental para el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, por cuanto implica interpretar, comprender y predecir fenómenos que tienen lugar en el mundo natural. Por ende, surge el interés en que los estudiantes sean capaces de desarrollar habilidades para explicar cuestiones científicas que se plantean en la clase de ciencias (Blanco y Díaz, 2017), a través de la explicación científica escolar, concebida como una actividad de aprendizaje que favorece la comprensión del saber científico para entender los fenómenos naturales (Paredes, 2018).

Dentro de estas cuestiones se encuentran los fenómenos relacionados con conceptos de genética. Todd (2013) señala que esta disciplina avanza vertiginosamente debido a los recientes adelantos científicos y tecnológicos, como la secuenciación del genoma humano, los organismos genéticamente modificados o la investigación con células madre, entre otros, cuya apropiación social es cada vez más necesaria. En consecuencia, resulta pertinente fortalecer desde el contexto del aula la habilidad para explicar científicamente, con el fin de facilitar en los estudiantes la construcción de esquemas conceptuales cada vez más complejos que les permitan comprender fenómenos naturales; en este caso, aquellos relacionados con la genética molecular.

Desde este enfoque, la presente investigación buscó que estudiantes de grado noveno de una institución educativa pública del municipio de Florencia (Caquetá, Colombia) optimizaran la habilidad para argumentar científicamente a través de la resolución de una situación problema planteada en el aula. Esto implicó usar comprensivamente el saber en dominios

específicos sobre genética, indagar, discutir con argumentos, construir consensos, buscar información, realizar predicciones con base en evidencias y trabajar en equipo. Por lo tanto, la intervención didáctica facilitó la adaptación comprensiva a la realidad, representada en la construcción de explicaciones escritas sobre fenómenos que requieren raciocinios basados en modelos conceptuales científicos, y propició que los estudiantes asumieran posturas críticas frente a asuntos sociocientíficos.

La estrategia de aprendizaje se fundamentó en acciones que refieren aspectos de la didáctica y la educación en ciencias: el Conocimiento de la Naturaleza de la Ciencia (Tamayo y Orrego, 2005), el Conocimiento Pedagógico del Contenido (Shulman, 1984) y el trabajo en ciencias; así como en el reconocimiento de conceptos previos, expectativas del estudiantado y la labor del docente como mediador del proceso. Lo anterior conlleva que el contexto de aprendizaje alcance el nivel de significancia necesario para despertar el interés en los estudiantes.

Esta perspectiva de la didáctica en ciencias permitió reconocer la competencia Explicación Científica de Fenómenos (en adelante, ECF) como una habilidad cognitiva-lingüística que contribuyó a preparar a los estudiantes para afrontar situaciones problema en diferentes contextos que requieren poner en práctica conocimientos, destrezas y actitudes a partir del mejoramiento de los argumentos para construir explicaciones. En este sentido, la investigación pretendió caracterizar el desempeño inicial para explicar científicamente fenómenos relacionados con conceptos de genética molecular y describir los cambios posteriores a la intervención del grupo a través de una unidad didáctica mediada por el ABP, con el fin de verificar el fortalecimiento de esta dimensión competencial.

## Antecedentes

Frente a la problemática que se aborda en este estudio, existen investigaciones que enfatizan el fortalecimiento de la competencia científica en estudiantes (Ramírez, 2018) y el desarrollo de la habilidad para explicar fenómenos a través de intervenciones didácticas que tratan contenido científico sobre genética (Vélez, 2020; Aguado y Campo, 2018). También se ha trabajado en la caracterización de esta dimensión competencial desde niveles de desempeño (Blanco y Díaz, 2017), niveles argumentativos (Ascencio y Barreto, 2019) y niveles explicativos (Delgado, 2022) sobre fenómenos del entorno vivo y físico, así como en la definición de criterios para el análisis de las explicaciones que construyen los estudiantes como insumo para abordar esta competencia desde la didáctica en el aula (Cutrera *et al.*, 2021).

Otras investigaciones destacan las dificultades que involucra la construcción de explicaciones científicas de fenómenos sobre genética molecular en el contexto escolar. En ellas se considera que estos conceptos constituyen uno de los ámbitos de la biología más difíciles, tanto para enseñar como para aprender, debido a la diversidad de vocabulario, la terminología de dominios específicos, el nivel de abstracción, la complejidad y la interacción que implican los procesos genéticos (Burgallo, 1995; Ayuso y Banet, 2002; Méndez y Arteaga, 2016; Todd y Kenyon, 2016). Otros estudios coinciden en señalar los obstáculos para comprender dichos fenómenos porque abarcan entidades y procesos pequeños (a nivel molecular y microscópico) que el estudiantado y el docente no pueden experimentar directamente (Marbach y Stavy, 2000), así como la multiplicidad de niveles biofísicos involucrados en la construcción de estas explicaciones (Duncan y Reiser, 2007; Thörne y Gericke, 2014).

## Marco teórico

La competencia científica se ha posicionado actualmente como un derrotero de trabajo para el profesorado de ciencias en el mundo (Blanco y Díaz, 2017). Diversos autores consideran la competencia científica como la habilidad cognitiva para producir, apropiarse o aplicar de manera comprensiva y responsable el saber científico en situaciones en las cuales se requiere (OCDE, 2006; Acosta y Vasco, 2013; Hernández, 2015). Para Chona *et al.* (2006), la competencia científica reúne la capacidad de un sujeto para reconocer un lenguaje científico, desarrollar habilidades de carácter experimental, organizar información, trabajar en equipo, construir explicaciones, comprender los fenómenos naturales y hacer uso del saber científico asumiendo una postura crítica. En este sentido, se reconoce la competencia científica como un conjunto de habilidades o capacidades del pensamiento para actuar e interactuar en un contexto determinado, aceptando el mundo natural y social como escenario de conocimiento, lo cual requiere por parte del estudiante el uso del saber científico para transformarlo positivamente.

El Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA, 2015) considera que, para ser competente en ciencias, el estudiante necesita dominar principalmente tres habilidades —un asunto que genera debate en la comunidad académica—: a) explicar fenómenos científicamente; b) evaluar y diseñar investigaciones científicas; c) interpretar datos y pruebas científicas. Estas habilidades están relacionadas entre sí, ya que recurren a un contexto, a actitudes y al uso de modelos científicos explicativos para dar respuesta a las cuestiones científicas planteadas (Romero, 2017). Asimismo, propone unos desempeños por niveles que pretenden determinar en estudiantes de 15 años de edad el grado de desarrollo aptitudinal alcanzado respecto a una de estas habilidades o al conjunto de ellas a través de una prueba estandarizada de lápiz y papel. Por lo tanto, estableció una escala cualitativa en la cual se describen atributos a manera de indicadores para cada nivel, que

va desde el más simple (nivel 1b) hasta el más avanzado (nivel 6).

Respecto a la explicación de fenómenos científicamente, esta dimensión competencial supone la capacidad para reconocer, evaluar y ofrecer explicaciones para un amplio abanico de fenómenos naturales y tecnológicos, a partir de la comprensión y apropiación del conocimiento científico, con el objeto de utilizarlo adecuadamente frente a un fenómeno de interés o cuando se presenta la necesidad de proporcionar una explicación provisional en situaciones donde haya ausencia de conocimiento o información (PISA, 2015). Según Caño y Burgoa (2017), esta habilidad abarca un conjunto de destrezas que el estudiante debe estar en capacidad de realizar para considerarse competente, así como establecer tareas a partir de las cuales es posible diferenciar tanto criterios como objetivos que guían la intervención en el aula (Figura 1).

**Figura 1.**

*Destrezas de la competencia explicación científica de fenómenos*



Fuente: adaptado de Caño y Burgoa (2017).

Niveles de desempeño de los estudiantes en el fortalecimiento de la competencia científica.  
Explicación de fenómenos sobre genética molecular  
Eddy Freddy Chávarro-Tujillo, Héctor Javier Delgado-Venegas

En genética, las explicaciones científicas han acudido al concepto de mecanismo para describir, predecir y entender de forma adecuada y completa el fenómeno que se pretende explicar (Deulofeu, 2023). Thorne y Gericke (2014) afirman que las explicaciones científicas mecanicistas han sido importantes para comprender procesos fundamentales de la genética molecular, por ejemplo, la replicación del ADN, la síntesis de proteínas y la expresión genética. Por ende, el razonamiento sobre los mecanismos debe incluirse en la educación genética porque las descripciones de los mecanismos son parte de una respuesta a las preguntas sobre por qué y cómo ha ocurrido un objeto o proceso biológico. Asimismo, señalan que la explicación de fenómenos genéticos puede describirse desde tres niveles organizacionales biológicos: macro (por ejemplo, rasgos visibles), micro (fenómenos celulares) y submicro (estructuras bioquímicas, por ejemplo, genes y ADN). Esto implica la necesidad de fomentar en los estudiantes la capacidad para movilizarse entre estos niveles al construir enunciados explicativos. De este modo, se reconoce que la explicación de fenómenos sobre genética molecular es una descripción de los patrones causales que provocan el fenómeno de interés (explicación mecanicista-causal) desde la relación entre niveles biofísicos de la materia (macro, micro y submicro).

Por otra parte, se han propuesto modelos conceptuales para describir, explicar y predecir fenómenos en genética que se relacionan con los tres niveles biofísicos organizacionales mencionados anteriormente (Tabla 1). Algunos autores coinciden en señalar que la alfabetización en genética molecular consiste en comprender cada uno de los tres modelos y ser capaz de integrarlos en explicaciones coherentes con los fenómenos genéticos (Todd, 2013). De ahí la dificultad que presentan los estudiantes para comprender y explicar fenómenos de esta índole, dada la complejidad no solo para comprender cada modelo por separado, sino para integrarlos.

**Tabla 1.**  
Modelos conceptuales en genética

Modelo	Nivel biofísico	Descripción
Genético (mendeliana, clásica o de transmisión)	Macro (rasgos visibles)	Explica los patrones de correlación entre genes y rasgos.
Meiótico	Micro (células, tejidos)	Explica los procesos celulares mediante los cuales se transfiere información genética entre padres e hijos.
Biomolecular	Submicro (genes, ADN, proteínas, aminoácidos)	Explica los mecanismos dentro de la célula mediante los cuales los genes dan rasgos o efectos físicos observables.

**Fuente:** Stewart *et al.* (2005) como se citó en Todd (2013).




Es importante destacar que, aunque el propósito de este estudio no es identificar y analizar el modelo explicativo sobre genética que emplea el estudiante,

se considera —al igual que Orrego *et al.* (2016)— que, desde el ámbito de la educación, comprender un fenómeno o un concepto científico implica poseer un modelo mental de ese fenómeno o concepto. En ese sentido, la intervención de aula enfatiza conceptos básicos que comprende el modelo biomolecular para explicar fenómenos propios de esta área de la genética, sin desconocer la importancia de los otros dos modelos conceptuales propuestos para tal fin.

## Metodología

Esta investigación se desarrolló con un enfoque cualitativo y alcance descriptivo. Se caracterizaron los niveles de desempeño inicial de la competencia ECF sobre genética molecular en los estudiantes y se describieron los cambios luego de una intervención en el aula. En la primera etapa se recolectó información mediante un cuestionario escrito con seis preguntas abiertas sobre fenómenos de genética molecular (Tabla 2), con el fin de evidenciar los niveles de desempeño explicativos iniciales.

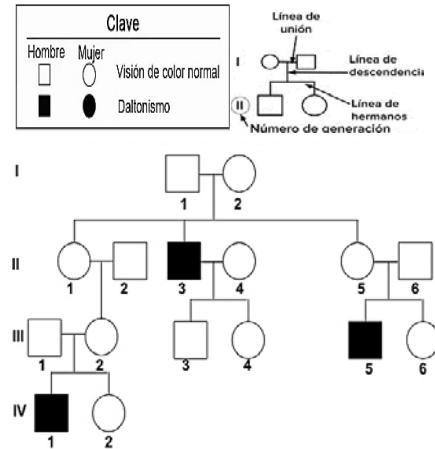
**Tabla 2.**  
Preguntas del instrumento inicial y final aplicado a estudiantes

Pregunta	Imagen de contexto
<p>P1: Si observamos a nuestros abuelos, algunos de sus rasgos (estatura, color del cabello, de piel y de los ojos) parecen perderse en nuestros padres, pero luego reaparecen en los nietos o en las siguientes generaciones de la familia. ¿Cómo crees que llega a suceder esto? Por favor explícalo con tus palabras.</p>	 <p><b>Nota:</b> La familia (imagen libre de derechos de autor).</p>
<p>P2: Jorge acompañó a su mamá a que le practicara unos exámenes de laboratorio que el médico le ordenó. Estando en el laboratorio clínico, le llamó la atención un afiche donde se promocionaba un servicio que presta dicho laboratorio (ver imagen). ¿Me podrías explicar con tus palabras por qué crees que esta prueba es efectiva para determinar casos de paternidad, como lo señala el afiche promocional?</p>	 <p><b>Nota:</b> afiche promocional.</p> <p><b>Fuente:</b> elaboración propia.</p>
<p>P3: Mariana es una estudiante del grado noveno que es amante de las mascotas. El año pasado, su mamá le obsequió un conejito macho. Sin embargo, el día de su cumpleaños un amigo le regaló un conejo hembra, desconociendo que ella ya tenía mascota. Al cabo de unos meses, la pareja de conejos se apareó, pero, para sorpresa de ella, una de las crías nació con el pelaje de color negro, a pesar de que sus progenitores son de pelaje blanco. ¿Podrías explicar por qué crees que ocurrió este hecho?</p>	 <p><b>Nota:</b> cria de conejos (imagen libre de derechos de autor).</p>

### Pregunta

P4: Carlos padece daltonismo, una enfermedad que le dificulta distinguir correctamente los colores verde y rojo. Al parecer, esta afección ha estado presente en su familia por varias generaciones. Lo curioso es que únicamente se presenta en algunos miembros de sexo masculino, como lo muestra el árbol genealógico de la familia (ver imagen). ¿Podrías explicar por qué crees que ocurre esto?

### Imagen de contexto



**Nota:** árbol genealógico de la familia de Carlos.

**Fuente:** elaboración propia.

P5: La familia Ramírez realizó una visita al zoológico la semana pasada. Al llegar al lugar donde estaban los tigres, se encontraron con algo que les llamó bastante la atención, ya que no comprendían qué le había ocurrido a uno de ellos, así que decidieron tomarle una fotografía (ver imagen). Por favor explica con tus palabras por qué crees que ocurre este fenómeno.



**Nota:** fotografía tomada al tigre en el zoológico (imagen libre de derechos de autor).

P6: Hace algún tiempo fue noticia en el mundo científico el siguiente titular: “Un laboratorio argentino, Bio Sidus, logró en agosto de 2002 la primera clonación de vacunos de Latinoamérica, y poco más de un año después, en septiembre de 2003, nació ‘Pampa Mansa’, genéticamente modificada con la inserción de la hormona de crecimiento humano para que la produzca en su leche”. ¿Explica por qué crees que es posible que Pampa Mansa pueda fabricar hormona de crecimiento humano en la leche que produce?



**Nota:** Pampa Mansa (imagen libre de derechos de autor).

**Fuente:** elaboración propia.

La intervención se llevó a cabo con una unidad didáctica (en adelante, UD) estructurada sobre tres momentos: ubicación, desubicación y reenfoque, distribuidos en 23 sesiones de clase (60 minutos por semana), mediadas por el método ABP, que constó de los siguientes pasos o fases: a) aclaración de conceptos y términos; b) definición y análisis del problema; c) realización de un resumen;

d) formulación de objetivos de aprendizaje y plan de acción; e) búsqueda de información; f) síntesis de la información recolectada y elaboración del informe final. En ella se diseñaron actividades de aprendizaje que procuraron potenciar en el estudiantado las destrezas que forman parte de la competencia ECF según Caño y Burgoa (2017).

Al finalizar, se aplicó un segundo cuestionario similar al inicial para comparar los resultados y facilitar la triangulación de los datos. También se utilizó una entrevista semiestructurada con preguntas orientadoras para recoger la percepción de los estudiantes sobre los aportes de la intervención. La unidad de trabajo estuvo conformada por 8 estudiantes del grado 902, entre un grupo de 26, seleccionados de acuerdo con criterios establecidos

previamente (asistencia a las sesiones de trabajo en aula, participación libre y voluntaria en el proceso investigativo, selección equitativa respecto al género y diferentes niveles de desempeño académico en ciencias naturales). Sus edades oscilaban entre los 14 y 16 años.

Para transcribir y sistematizar los datos, se usaron matrices descriptivas que organizaron en paralelo las respuestas iniciales y finales del cuestionario, junto con las de la entrevista semiestructurada. El análisis se realizó mediante triangulación de datos y triangulación teórica. La categoría de análisis, con su subcategoría respectiva, incluyó cinco niveles de desempeño explicativo (NDE) sobre fenómenos de genética molecular, adaptados de los descriptores de niveles de rendimiento en ciencia propuestos por PISA (2015) (Tabla 3).

**Tabla 3.**

*Categoría y subcategoría de investigación*

Categoría	Subcategoría	Subcategoría Niveles de Desempeño Explicativo	Indicadores
Competencia científica: explicación de fenómenos	Explicación de fenómenos sobre genética molecular	N1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explica fenómenos sobre genética molecular utilizando tautologías.</li> <li>Explica fenómenos sobre genética molecular desde contextos personales, locales y globales cotidianos.</li> </ul>
		N2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplea uno o dos conceptos relacionados con fenómenos sobre genética molecular.</li> <li>Identifica explicaciones científicas sobre genética molecular.</li> <li>Utiliza una relación causal simple sobre fenómenos de genética molecular.</li> </ul>
		N3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplea tres conceptos relacionados con fenómenos sobre genética molecular.</li> <li>Identifica y elabora explicaciones científicas de fenómenos sobre genética molecular.</li> <li>Describe en su explicación dos relaciones causales simples sobre fenómenos de genética molecular.</li> </ul>
		N4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ofrece explicaciones de fenómenos sobre genética molecular haciendo uso de más de tres conceptos científicos asociados al fenómeno.</li> <li>Saca conclusiones que van más allá de los datos presentados en una situación problemática y justifica sus afirmaciones, haciendo uso de algunos conceptos sobre genética molecular.</li> <li>Explica haciendo uso de tres o más relaciones causales simples de fenómenos sobre genética molecular.</li> </ul>
		N5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ofrece explicaciones de fenómenos sobre genética molecular haciendo uso de un amplio número de conceptos científicos, de manera sofisticada, asociados al fenómeno.</li> <li>Construye afirmaciones y justificaciones haciendo uso de conocimiento teórico sobre genética molecular.</li> <li>Utiliza relaciones causales múltiples o complejas de fenómenos sobre genética molecular.</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia a partir de descriptores de los niveles de rendimiento en ciencia, PISA (2015).

El análisis del contenido se realizó a través de marcadores discursivos, entendidos como unidades lingüísticas que orientan el discurso y el análisis descriptivo. En este caso correspondieron a oraciones con sentido que se extrajeron de las declaraciones escritas por los estudiantes, con el fin de revisar en ellas criterios de la subcategoría de investigación e identificar los niveles de desempeño explicativo inicial (NDEi) y final (NDEf). Asimismo, se buscó identificar categorías de los aportes que dejó la intervención didáctica desde el enfoque de los estudiantes.

## Resultados y análisis

Las respuestas se analizaron de acuerdo con las convenciones establecidas en las tablas 4 y 5, cuya finalidad fue revisar los criterios para la categoría explicación de fenómenos sobre genética molecular e identificar los NDEi y NDEf.

**Tabla 4.**

*Convenciones para la codificación de los datos obtenidos en el instrumento inicial y final*

Símbolo	Nombre	Definición
E	Estudiante	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8
P	Pregunta	P1, P2, P3, P4, P5, P6
NDE	Nivel de desempeño explicativo	NDE1, NDE2, NDE3, NDE4, NDE5

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 5.**

*Convenciones para marcadores discursivos*

Color	Indicador de codificación
Rojo	En su explicación incorpora tautologías.
Verde	En su explicación incorpora experiencias cotidianas a partir de contextos personales, locales y globales.
Amarillo	En su explicación emplea entre uno y dos conceptos científicos asociados a fenómenos de genética molecular.
Gris	En su explicación emplea una relación causal simple.
Café	En su explicación emplea tres conceptos científicos asociados a fenómenos sobre genética molecular.
Azul	En su explicación emplea dos relaciones causales simples.
Azul claro	En su explicación emplea más de tres conceptos científicos asociados a fenómenos sobre genética molecular.
Verde oscuro	En su explicación emplea tres o más relaciones causales simples.
Morado	Incorpora en su explicación un amplio número de conceptos científicos asociados a fenómenos de genética molecular, empleando un lenguaje sofisticado (usos del lenguaje muy precisos a la luz de la teoría y con indicios de transferencia al contexto).
Fucsia	En su explicación emplea relaciones causales múltiples o complejas.

**Fuente:** elaboración propia.

Durante el análisis de los resultados se presentaron respuestas que comparten indicadores entre un NDE y otro, por lo cual no se categorizaron en un NDE espe-

cífico. Para ello, se recurrió a NDE intermedios (N1-N2, N2-N3, N3-N4), y se establecieron tendencias entre estos de acuerdo con el número de preguntas por estudiante que se categorizaron en dichos niveles.

## Momento previo a la implementación de la UD

Las respuestas iniciales mostraron una tendencia a explicar fenómenos sobre genética molecular desde el NDE1 y NDE2 (Tabla 6).

**Tabla 6.**

Tendencia de NDEi en los que se ubican los estudiantes

Estudiante	NDEi
E1	N1
E2	N1
E3	N1 con tendencia N2
E4	N1 con tendencia N2
E5	N1 con tendencia N2
E6	N2
E7	N1 con tendencia N2
E8	N2 con tendencia N3

**Fuente:** elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 6, se encontró que dos estudiantes se ubicaron en NDE1, cuatro en NDE1-NDE2 con tendencia NDE2, uno en NDE2 y uno en NDE2-NDE3 con tendencia NDE3. Ningún estudiante se ubicó en NDE3, NDE4 o NDE5. En consecuencia, se infiere que los estudiantes presentan dificultades para alcanzar niveles de desempeño que requieren una estructuración más elaborada en sus enunciados explicativos. Estos obstáculos se evidenciaron en el uso frecuente de expresiones semánticas asociadas a procesos explicativos desde lo empírico o perceptual (Cutrera *et al.*, 2021), que enfatizan la incorporación de experiencias cotidianas y el sentido común mediado por preconcepciones o ideas previas para

explicar los fenómenos indagados (Blanco y Díaz, 2017).

Para ilustrar estos resultados, se presentan las respuestas de E1 y E2 en la P2:

E1P2: “es efectiva ya que miran a través de saliva, un mechón de pelo, sangre, etc. para ver si tiene parentesco con el supuesto padre en la afiche nos dice el porcentaje de parentesco”.

E2P2: “Esta prueba es efectiva por que la llevan a un laboratorio y hacen su procedimiento y también porque ya se ha confirmado por muchos profesionales que esta prueba tiene un 99,99 % positivo o ya sea negativo”.

En estas respuestas se observa el uso de tautologías y, aunque intentan brindar explicaciones causales simples, estas enfatizan el contenido conceptual sobre entidades perceptibles (“mechón de pelo”, “saliva”, “sangre”) sin involucrar conocimientos del nivel submicro de la materia, que explican las causas del fenómeno. El contenido de los enunciados explicativos no supera el ámbito de lo empírico y está fuertemente asociado con su contexto personal y local, por lo cual se infiere que corresponde a un nivel explicativo donde la conceptualización no trasciende más allá de procesos de pensamiento de lo concreto.

Por su parte, las respuestas que se ubicaron en el NDE1-NDE2 con tendencia NDE2 se caracterizaron por compartir criterios del NDE1 y NDE2. Se evidenció la incorporación de algunos términos relacionados con conceptos sobre genética molecular que describen una relación causal simple; sin embargo, los fenómenos se explican desde experiencias cotidianas y contextos personales y locales. Además, se usa un lenguaje poco estructurado con ciertas imprecisiones para establecer relaciones de causa y efecto entre los niveles biofísicos del fenómeno genético. Para ilustrar

ello, se destacan las respuestas de E3 y E7 para la P5, así como las de E3 y E5 para la P6:

E3P5: “Este fenómeno ocurre cuando las células que producen el color de su piel o pelaje no se desarrolla. Por lo tanto el tigre adquiere albinismo”.

E7P5: “Eso ocurre por falta de un elemento que hace ver el color en el cuerpo físico tanto de animales como de personas y a esas personas y animales se le llaman alvinos”.

E3P6: “Porque las vacas son muy sensibles y todo lo producen o salen en su leche= Estrés, enojo. Todo lo transmiten en su leche al modificar su ADN lo proyecta en su leche entonces ella fabrica lo hormona de crecimiento humano en su leche”.

E5P6: “alterando sus cromosomas a partir de un espermatozoide de bufalo lo alteraron y lo insertaron para que la vaca produzca la hormona por su leche.”

De otra parte, las respuestas de E6 y E8 —que tienden a ubicarse en el NDE2— expresan una relación causal simple e integran a la explicación algunas entidades teóricas sobre genética molecular con cierta precisión conceptual, demostrando el uso de un lenguaje más elaborado y preciso. Se observa, pues, el uso de expresiones más próximas al lenguaje científico escolar y razonamientos con cierto grado de abstracción en la conceptualización. Esto se evidencia en la respuesta de la P3:

E6P3: “Porque de pronto los padres de los 2 conejos tenían parientes de pelaje negro y esos genes quedaron ocultos en ellos y con la cria se expresó los genes ocultos”.

E8P3: “Este hecho sucedió porque había un gen que porta el carácter de pelaje negro por parte de alguno de los dos conejos que se aparearon, el cual no se presentó en ellos sino que en sus crias, dependiendo del código genético de los progenitores”.

En estas respuestas aún se observan imprecisiones en el lenguaje al referirse a características fenotípicas (el color del pelaje de los conejos progenitores) y dificultades para establecer relaciones entre conceptos de niveles biofísicos distintos (molecular y su interacción con estructuras del nivel macroscópico). El razonamiento requiere el uso comprensivo de conceptos como carácter, homocigoto y heterocigoto.

Los resultados iniciales confirman, primero, lo expuesto por Blanco y Díaz (2017), quienes señalan que las explicaciones del mundo natural se realizan a través de un modelo, ya sea el establecido por la comunidad científica (modelo teórico) o el modelo propio del individuo. En segundo lugar, coinciden con Campanario y Otero (2000), quienes plantean que los estudiantes mantienen un conjunto diverso de ideas previas, espontáneas o preconcepciones sobre los contenidos científicos que, casi siempre, son erróneas; y que constituyen un

factor clave a considerar para un aprendizaje significativo de las ciencias.

Durante la implementación de la UD mediada por el ABP, se evidenció la construcción de explicaciones más coherentes y argumentadas desde lo conceptual. En las sesiones de clase se aplicaron guías estructuradas que incorporaban conceptos básicos del modelo biomolecular en genética y orientaban la búsqueda y el análisis de información para resolver el problema formulado en la intervención. En cuanto a la dinámica de trabajo, los estudiantes estuvieron receptivos y participaron activamente en cada actividad. También se evidenció el afianzamiento de otras habilidades propias del pensamiento científico, como la indagación, el uso comprensivo del conocimiento científico, la comunicación y el trabajo en equipo, además del acompañamiento permanente del docente como mediador.

### Momento posterior a la implementación de la UD

Se encontró que tres estudiantes permanecieron en un mismo NDE, ya que sus respuestas no transitaron hacia niveles más complejos, mientras que cinco estudiantes avanzaron hacia niveles que comprenden un mayor grado de elaboración conceptual. Se infiere, por tanto, que optimizaron sus procesos cognitivos para explicar científicamente fenómenos (Tabla 7). En este sentido, se evidenció un afianzamiento de esta dimensión competencial de acuerdo con la edad, el contexto y el tiempo asignado a la intervención.

**Tabla 7.**

*Comparación de NDEi y NDEf*

Estudiante	NDEi	NDEf
E1	N1	N1
E2	N1	N1
E3	N1 con tendencia N2	N2 con tendencia N3
E4	N1 con tendencia N2	N2
E5	N1 con tendencia N2	N2
E6	N2	N2
E7	N1 con tendencia N2	N2 con tendencia N3
E8	N2 con tendencia N3	N3

Fuente: elaboración propia.

### Cambios registrados luego de la implementación de la UD

Es importante destacar que, al mejorar en los estudiantes la comprensión y apropiación de los conceptos abordados en la intervención didáctica, se facilitó el establecimiento de relaciones causales simples entre entidades teóricas de los niveles biofísicos de la materia (submicro, micro y macro), enfatizando su contenido explicativo en el nivel submicro mediante conceptos propios del modelo de genética molecular. De este modo, mejoró la calidad de las explicaciones y, a su vez, los niveles de desempeño en esta dimensión.

En cuanto a la construcción de los enunciados explicativos, se identificaron avances en la precisión del lenguaje científico, el nivel de abstracción y la complejidad estructural del enunciado en cinco de los ocho estudiantes, al transitar de un NDE a otro de mayor complejidad. A continuación se describen algunos cambios en los niveles de desempeño explicativo (Tablas 8, 9 y 10).

**Tabla 8.**  
 Cambio del NDE1-NDE2 a NDE2

Estudiante/ Pregunta	Respuesta inicial	Respuesta final
E4P2	“La prueba de paternidad se hace para cuando una madre no sabe quién es el padre de su hijo. Entonces con un hombre que haya tenido relaciones sexual, entonces miran la sangre del señor con el bebé para saber si es el padre del bebé”. (NDE1)	“La prueba de paternidad es muy efectiva para determinar estos casos porque comparan el ADN del padre con el ADN del hijo si son los mismos ADN es muy probable que si sea el padre del bebé”. (NDE2)
E5P2	“nosotros al ser el 50 % de nuestros padres se puede identificar fácilmente analizando nuestros cromosomas”. (NDE1 - NDE2)	“Porque la mitad de todos sus genes los aporta su padre y la otra mitad su madre los cuales entre el posible pariente y el hijo son comparados los genes para determinar su parentesco”. (NDE2)

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 8, en el enunciado explicativo final se incorporan referentes teóricos de naturaleza abstracta asociados al nivel molecular (“ADN”, “genes”), los cuales se emplean con cierto nivel de aproximación al concepto científico, ya que los estudiantes otorgan implícitamente a estas estructuras moleculares la función de almacenar el código o información genética, que luego es comparado entre el presunto padre e hijo para determinar la posible paternidad. Además, el fenómeno lo describen a través de una relación causal simple que vincula las entidades teóricas referidas, pero acompañada de expresiones del lenguaje cotidiano, tales como: “si son los mismos ADN, es muy probable que sí sea el padre del bebé”; “la mitad de todos sus genes los aporta su padre y la otra mitad su madre”.

**Tabla 9.**  
 Cambio del NDE1- NDE2 a NDE2- NDE3

Estudiante/ Pregunta	Respuesta inicial	Respuesta final
E3P5	“Este fenómeno ocurre cuando las células que producen el color de su piel o pelaje no se desarrolla. Por lo tanto el tigre adquiere albinismo.” (NDE1 – NDE2)	“Esto sucede debido a un cambio en su código genético, esta enfermedad se desarrolló en el tigre, dándole un peculiar tono blanco en su pelaje, debido a este suceso presenta algunos problemas para su supervivencia por falta de melanina.” (NDE2- NDE3)
E7P3	“Porque tal vez el negro era Dominate”. (NDE1)	“Porque uno de los padres de los conejos blancos debio ser de pelaje negro pero cuando le hereda los genes a su cria no se manifestó el color de pelaje negro pero si se quedó en sus genes, así que cuando tuvo crías este rasgo se manifestó.”(NDE2 - NDE3)

Fuente: elaboración propia.

Al comparar, en la Tabla 9, los enunciados explicativos finales para la P3 y la P5, se pudo constatar un proceso de transición del lenguaje cotidiano hacia un lenguaje más sofisticado, en el cual los argumentos causales intentan relacionarse desde el nivel de conceptualización submicroscópica. Dichos argumentos aparecen más asociados a procesos de descontextualización en su contenido y enfatizan un razonamiento más orientado hacia lo abstracto. En este sentido, se coincide con Mortimer (2000), quien señala que, en la medida en que la explicación del fenómeno que realiza el estudiante se va sustentando en modelos conceptuales científicos, la explicación misma comienza a desligarse del nivel empírico o perceptual, caracterizado por explicaciones basadas en contextos personales y locales cotidianos.

**Tabla 10.**  
*Cambio del NDE2– NDE3 a NDE3*

Estudiante/ Pregunta	Respuesta inicial	Respuesta final
E8	“Esto puede suceder mediante los genes de cada individuo o ser humano ya que es el ADN el que procesa la información genética de los rasgos que tienen los progenitores hacia el nuevo ser vivo, de esta manera la transmite a sus descendientes”. (NDE2 – NDE3)	“Todo esto llega a suceder por medio del código genético que tiene establecido el ADN y es transmitido y traducido (...) para llevar a cabo las características del individuo finalizando esta función a través del ARN. También depende de los pares de cromosomas en los gametos. Si es dominante el cromosoma de la mujer o el hombre (progenitores) se expresan los rasgos físicos”. (NDE3)

**Fuente:** elaboración propia.

En la Tabla 10 se evidencia que el argumento explicativo se estructura con un mayor nivel de complejidad en cuanto a las formas de justificar y descontextualizar el contenido,

a través de un proceso de razonamiento más orientado hacia lo abstracto. La explicación se fundamenta en estructuras imperceptibles que no están sujetas a los sentidos y se soportan en modelos científicos. De ahí que el uso del lenguaje transite de lo cotidiano a un lenguaje más sofisticado (lenguaje científico escolar). Al respecto, se confirma lo expuesto por Cutrera *et al.* (2021), quienes afirman que las explicaciones mediadas por un modelo científico escolar se caracterizan por introducir términos propios del nivel de conceptualización submicroscópico y vincularlos con aquellos propios del nivel macroscópico. En tal sentido, este tipo de razonamiento implica un mayor nivel de abstracción y descontextualización del contenido para expresar argumentos explicativos.

## Conclusiones

Los niveles de desempeño explicativo iniciales mostraron que las construcciones semánticas de los estudiantes se caracterizaron por explicar fenómenos sobre genética molecular desde contextos personales, empleando un lenguaje impreciso y ambiguo, con un nivel de conceptualización que enfatizó en lo empírico y concreto, sin una estructura argumentativa definida y, en algunos casos, carente de coherencia. En consecuencia, se ubicaron en los niveles de desempeño 1 y 2.

Luego de la implementación de la UD, se evidenciaron progresos en los niveles de desempeño explicativo, al incorporar en las explicaciones escritas entidades teóricas del modelo genético molecular con cierta aproximación conceptual, estableciendo relaciones causales simples entre niveles biofísicos de la materia e intentando situar el contenido en el nivel submicro (ADN, genes, proteínas), desde donde los otros niveles biofísicos (micro y macro) buscaron ser explicados en función del primero. Este hecho demuestra que los

estudiantes que lograron movilizarse hacia niveles de desempeño explicativo de mayor complejidad procuraron razonar los fenómenos desde procesos cognitivos de lo abstracto y, por ende, asociados a procesos de descontextualización en su contenido. En consecuencia, los argumentos explicativos se construyeron a partir de un modelo científico escolar.

Aunque se observó un cambio hacia el uso de un lenguaje más sofisticado y preciso en las explicaciones finales, persistieron en los estudiantes obstáculos en los modos de presentar los argumentos (dato-justificación-conclusión), los cuales se caracterizaron por la ausencia o el uso inadecuado de conectores lógicos y signos de puntuación en algunos enunciados, reflejando una debilidad en el componente lingüístico-textual.

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron corroborar que, con la implementación de la UD mediada por el ABP, se propició el fortalecimiento de la explicación científica escolar y, a su vez, la adquisición de nuevos conceptos que forman parte del modelo genético molecular, en la medida en que los estudiantes participantes transitaron hacia niveles de desempeño explicativo más avanzados. Asimismo, mediante la resolución de una situación problemática, se incentivó el desarrollo del pensamiento científico a través de la optimización de la habilidad para formular explicaciones empleando conceptos científicos; paralelamente, se estimularon otras habilidades, como la indagación, el uso comprensivo del conocimiento científico, la comunicación y el trabajo en equipo.

## Referencias

- Acosta, D. y Vasco, C. (2013). *Habilidades, competencias y experticias: más allá del saber qué y el saber cómo*. Corporación Universitaria UNITEC.
- Aguado, A. y Campo, Á. (2018). Desarrollo de competencias científicas en biología con la metodología del aprendizaje basado en problemas en estudiantes de noveno grado. *Biografía*, 11(20), 67-78. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.11.num20-8594>
- Ascencio, N. y Barreto, C. (2019). Los niveles argumentativos de los estudiantes en el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos. *Educación y Ciencia*, (21), 673-678. <https://repositorio.uptc.edu.co/entities/publication/40d96bb0-d414-49ce-8d9b-a646f2bb7e55>
- Ayuso, G. y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 20(1), 133-157. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3983>
- Blanco, P. y Díaz, J. (2017). Análisis del nivel de desempeño para la explicación de fenómenos de forma científica en una actividad de modelización. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 505-520. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3158>

- Bugallo, Á. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 379-385. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4258>
- Campanario, J. y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 18(2), 155-169. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4036>
- Caño, A. y Burgoa, B. (2017). PISA: Competencia científica. Marco y análisis de los ítems (IV de E. e I. Educativa). ISEI.IVEI.
- Chona, G., Arteta, J., Fonseca, G., Ibáñez, X., Martínez, S., Pedraza, M. y Gutiérrez, M. (2006). ¿Qué competencias científicas desarrollamos en el aula? *Tecné, Episteme y Didaxis*, TED, (20), 62-79. <https://doi.org/10.17227/ted.num20-1061>
- Cutrerá, G., Massa, M. y Stipcich, S. (2021). La explicación científica en el aula. Consideraciones didácticas a partir de las explicaciones de los estudiantes. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(2), 169-177. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35199>
- Delgado, H. (2022). *Relación entre la competencia explicación de fenómenos y el aprendizaje de conceptos básicos de electricidad* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Manizales]. <https://repositorio.autonoma.edu.co/items/f01bdec1-cb17-4bb8-b0a2-3d3191cb231e>
- Deulofeu, R. (2023). Explicación estructural en biología. Poniendo límites a la explicación mecanicista. *Foundations of Science*, 38(3), 299-317. <https://ddd.uab.cat/record/294094>
- Duncan, R. y Reiser, B. (2007). Reasoning across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Hernández, C. (2005, 11 de octubre). ¿Qué son las competencias científicas? [Ponencia]. Foro Educativo Nacional, Ministerio de Educación Nacional.
- Marbach, G. y Stavy, R. (2000). Students' Cellular and Molecular Explanations of Genetic Phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205. <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2000.9655718>
- Méndez, E. y Arteaga, Y. (2016). Una mirada a las estrategias didácticas para la enseñanza de la genética. *Omnia*, 22(1), 61-73. <https://biblat.unam.mx/es/revista/omnia-maracaibo/articulo/una-mirada-a-las-estrategias-didacticas-para-la-ensenanza-de-la-genetica>
- Mortimer, F. (2000). *Microgenetic analysis and the dynamics of explanations in the science classroom*. En Proceedings of the III Conference for Sociocultural Research (16-20 de julio).
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2006). PISA. Marco de la Evaluación, conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura. Autor.
- Orrego, M., Tamayo, O. y Ruiz, J. (2016). *Unidades didácticas para la enseñanza de las ciencias*. Universidad Autónoma de Manizales.
- Paredes, N. (2018). *Aportes de la historia de la ciencia en la explicación científica escolar* [Tesis de doctorado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/8007/>

- PISA-2015 Assessment and Analytical Framework. (2016). En *Programme for International Student Assessment/Internationale Schulleistungstudie*. Autor.
- Ramírez, C. (2018). Desarrollo de la competencia científica “explicar” en ciencias naturales, en estudiantes del grado décimo de la I. E. Alfredo Bonilla Montaña [Tesis de maestría, Universidad ICESI]. <https://repository.icesi.edu.co/bitstreams/e8a1d5b5-575b-44f5-b1b0-2295e9dc0ef0/download>
- Romero, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3335>
- Shulman, L. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://www.wcu.edu/webfiles/pdfs/shulman.pdf>
- Tamayo, O. y Orrego, M. (2005). Aportes de la naturaleza de la ciencia y del contenido pedagógico del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 9-25. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyep/article/view/6051>
- Thörne, K. y Gericke, N. (2014). Teaching Genetics in Secondary Classrooms: A Linguistic Analysis of Teachers’ Talk About Proteins. *Research in Science Education*, (44), 81-108. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9375-9>
- Todd, A. (2013). *The Molecular Genetics Learning Progressions: Revisions and Refinements Based on Empirical Testing in Three 10th Grade Classrooms* [Tesis de doctorado, Universidad Estatal de Wright]. [https://corescholar.libraries.wright.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2300&context=etd\\_all](https://corescholar.libraries.wright.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2300&context=etd_all)
- Todd, A. y Kenyon, L. (2016). Empirical Refinements of a Molecular Genetics Learning Progression: The Molecular Constructs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1385-1418. <https://doi.org/10.1002/tea.21262>
- Vélez, J. (2020). *Estrategia metodológica en el desarrollo de competencias científicas, una propuesta a partir de la enseñanza de la genética* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstreams/f53545d5-7a72-413c-902e-5c3bd5a9aaa1/download>