

## Integración de biología molecular en programas educativos para fortalecer el aprendizaje de evolución y diversidad biológica en estudiantes de secundaria

### Integration of Molecular Biology into Educational Programs to Enhance Learning about Evolution and Biological Diversity among Secondary School Students

Fátima Janeth Martínez Fuentes<sup>1</sup> y Evelin Vanessa Rivera Ulcuango<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central del Ecuador, janfmartinez@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8712-9348>, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Central del Ecuador, evelin.rivera@docentes.educacion.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0003-1069-283X>, Ecuador

---

#### Información del Artículo

##### *Trazabilidad:*

Recibido 28-12-2025

Revisado 29-12-2025

Aceptado 31-01-2026

---

##### *Palabras Clave:*

Biología molecular  
Programas de educación  
Evolución  
Estudiante de secundaria  
Diversidad biológica

---

##### *Keywords:*

Molecular biology,  
Educational programs,  
Evolution,  
Secondary school student,  
Biodiversity

---

#### RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar como la integración de la biología molecular en los programas educativos potencian el aprendizaje de la evolución y la diversidad biológica en los estudiantes de secundaria. Para aquello, se utilizó un diseño cuasi-experimental con enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. Los resultados mostraron que los estudiantes del grupo experimental, que recibieron la intervención de biología molecular, aumentaron significativamente su rendimiento, mientras que el grupo de control mostró una mejora más modesta. Por otra parte, el uso de modelos moleculares y simulaciones digitales fue clave para que los estudiantes comprendieran mejor los conceptos complejos, de este modo se promovió una participación activa en el aprendizaje. Sin embargo, se identificó desafíos, como; la falta de recursos físicos adecuados y la necesidad de capacitar al docente en biología molecular, lo que limita la efectividad de la implementación. Como conclusión, se estableció que, la integración de la biología molecular no solo mejora la comprensión de la evolución, sino que incrementa la motivación y el interés de los estudiantes por la ciencia.

---

#### ABSTRACT

This research aims to analyze how integrating molecular biology into educational programs enhances secondary school students' learning of evolution and biodiversity. A quasi-experimental design with a mixed-methods approach was used, combining qualitative and quantitative methods. The results showed that students in the experimental group, who received the molecular biology intervention, significantly improved their performance, while the control group showed a more modest improvement. Furthermore, the use of molecular models and digital simulations was key to students' better understanding of complex concepts, thus promoting active participation in learning. However, challenges were identified, such as a lack of adequate physical resources and the need for teacher training in molecular biology, which limits the effectiveness of the implementation. In conclusion, it was established that integrating molecular biology not only improves the understanding of evolution but also increases students' motivation and interest in science.

---

---

#### INTRODUCCIÓN

En el ámbito educativo contemporáneo, la enseñanza de la biología enfrenta el desafío de mantenerse actualizada frente al vertiginoso avance del conocimiento científico y tecnológico. Entre los temas de mayor complejidad conceptual se encuentra la evolución biológica, eje integrador de las ciencias de la vida, cuya comprensión profunda requiere vincular los niveles molecular, genético y poblacional (Basulto et al., 2017).

De acuerdo con el estudio González y Meidarni (2015) se establece que, “los estudiantes de secundaria componen de manera fragmentada o erróneamente concepciones sobre los mecanismos evolutivos por la desconexión entre la biología de la célula y la biología de la evolución” (p. 102). Por lo expuesto, estas dificultades, se asocian a modelos de enseñanza que priorizan la memoria de conceptos sobre la construcción activa del conocimiento.

Por otra parte, la biología molecular ha cambiado el entendimiento de los procesos vitales de la humanidad, ya que describe; la variación biogénica, las “mutaciones” y la expresión diferencial de los genes, y la biología. Por lo expuesto se cita a Rubio et al. quienes argumentan que “los avances en la secuenciación de ADN, el análisis filogenético y la biotecnología han hecho posible establecer relaciones evolutivas con gran precisión, permitiendo a los estudiantes entender la evolución no como una teoría abstracta, sino como un proceso observable a nivel molecular” (2019, p. 14). Por lo expuesto, es necesario cambiar la enseñanza tradicional de la evolución que se centra en los organismos y sus características, debido a que resulta insuficiente y no se complementa con el estudio de la biología molecular.

Para Arboleda (2021) destaca que “la educación biológica moderna debe avanzar hacia una integración curricular que unifique los contenidos moleculares y evolutivos” (2021, p. 25). Su revisión sistemática muestra que la mayoría de los programas educativos aborda la biología molecular y la evolución de forma aislada, generando una brecha conceptual que limita el desarrollo del pensamiento científico.

En concordancia, Verdezoto et al. demostraron que “la implementación de un módulo educativo que conecta la genética molecular con la evolución mejora significativamente la comprensión de los mecanismos de mutación, selección natural y deriva genética en estudiantes de secundaria” (2023, p. 56). Estos hallazgos confirman que, la integración de la biología molecular en la enseñanza de la evolución puede mejorar la alfabetización científica de los jóvenes, así como el razonamiento biológico.

En cuanto a los sistemas educativos, se describe a la biología molecular como un tema altamente especializado y distante de las experiencias del estudiante secundario. La realidad de la educación, presenta tanto obstáculos estructurales como pedagógicos, a esto se agrega la ausencia de preparación adecuada, el suministro limitado de equipos de laboratorio, y la falta de construcciones pedagógicas que propongan la contextualización del conocimiento científico a retos relevantes de la vida diaria. Por lo que, la enseñanza de la evolución debería fomentar un abordaje integrador y plural de la genética, la ecología y la biología molecular, de tal modo que el educando logre apreciar a la unidad y diversidad de formas de vida desde una perspectiva sistémica.

Por otra parte, las reformas curriculares orientadas por competencias demandan actualización de contenidos y adopción de metodologías activas (indagación guiada, aprendizaje basado en problemas y trabajo experimental). En este marco, incorporar la biología molecular al estudio de la evolución es epistemológica y pedagógicamente necesario. En cuanto al ámbito epistemológico, permite sustentar los mecanismos evolutivos mutación, recombinación, selección natural, deriva y flujo génico con evidencia de nivel molecular (secuenciación, análisis de variantes y reconstrucción filogenética).

En el ámbito pedagógico, habilitan experiencias de aprendizaje auténticas como; la lectura de fragmentos de secuencias, comparación de alineamientos y uso de bases de datos abiertas que fortalecen la alfabetización científica y el juicio crítico del estudiantado frente a aplicaciones biotecnológicas actuales (diagnóstico molecular, edición génica) y sus implicaciones éticas (privacidad de datos, equidad y regulación).

Por lo expuesto anteriormente, la UNESCO señala que “la educación científica de calidad debe promover una comprensión integrada de los fenómenos naturales, relacionando la evidencia empírica con la vida cotidiana del estudiante” (2023, p. 45). En este sentido, la enseñanza de la Biología molecular ofrece un amplio marco de aprendizaje que permite conectar los procesos científicos con patrones macroscópicos de la diversidad y evolución.

Por otra parte, el presente estudio tiene como objetivo analizar cómo la integración de la biología molecular en los programas educativos de secundaria puede potenciar el aprendizaje significativo de la evolución y la diversidad biológica en los estudiantes, y asimismo, busca identificar las estrategias pedagógicas más efectivas para incorporar contenidos moleculares en el aula, evaluar su impacto en la comprensión de los conceptos evolutivos y proponer lineamientos para el diseño de currículos científicos más coherentes e integradores. La investigación aspira a contribuir al fortalecimiento de la enseñanza de la biología, generando una propuesta educativa que promueva el desarrollo de competencias científicas, éticas y críticas en las nuevas generaciones.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el presente estudio se emplea un diseño cuasi-experimental con enfoque mixto, debido a combina métodos cualitativos y cuantitativos (Hernández et al., 2014). De este modo, la intervención está diseñada

e implementada en varias instituciones educativas, mientras que la biología molecular se enseña junto con lecciones de biología evolutiva.

La muestra se selecciona mediante un muestreo no probabilístico intencional, eligiendo tres escuelas secundarias de distintos tipos (una pública, una privada y una técnica) (GCF Global, 2025). Se incluyen un total de 100 estudiantes de 1ro a 3ro de bachillerato, quienes se distribuyen entre dos grupos: el grupo experimental, que recibe la intervención con los contenidos de biología molecular, y el grupo de control, que sigue el currículo tradicional sin la integración de estos contenidos.

La recolección de datos se lleva a través de dos instrumentos, el primero con pruebas pre y post para medir el nivel de conocimientos antes y después de la implementación. La temática aborda los temas de mutación, selección natural, genética y diversidad biológica, al comparar los resultados se evidencia el nivel de comprensión (Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia, 2022). Por otra parte, el segundo instrumento es la aplicación de una lista de cotejo para observar de forma sistemática las clases del grupo experimental, con la finalidad de registrar las estrategias pedagógicas que utilizan los docentes para integrar la biología molecular en la enseñanza de la evolución y diversidad biológica (Baena, 2017). Este proceso permite identificar las fortalezas y debilidades del proceso enseñanza-aprendizaje.

La investigación cuantitativa implica el análisis estadístico y descriptivo, adicional se compara con la prueba T para evaluar las diferencias en el rendimiento estudiantil en los cuestionarios de pre y post-test. Se presta especial atención a los logros alcanzados por los estudiantes en el grupo experimental en relación con el grupo de control (Palella y Martins, 2016). De igual manera, el análisis cualitativo se concentra en las observaciones de clase donde se utilizan métodos de codificación temática para discernir patrones y categorías. Esto ayuda a construir las opiniones de los docentes sobre las inclusiones de la Bioquímica de las moléculas en las lecciones y los desafíos de utilizar el enfoque en la enseñanza, así como las lagunas en las percepciones.

## RESULTADOS

### Prueba pre y post test

Los puntajes obtenidos en las pruebas pre y post-test fueron analizados para ambos grupos:

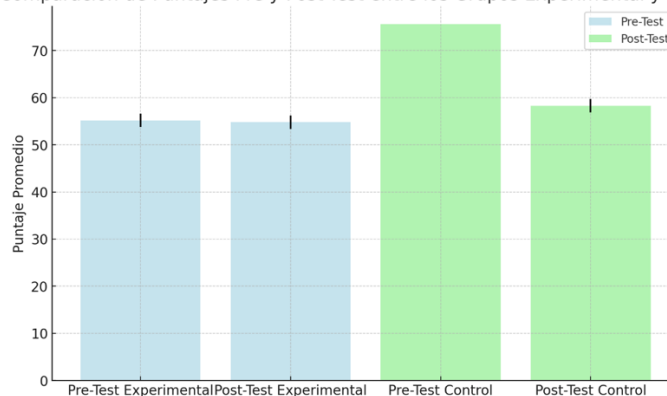
- Grupo Experimental: Los estudiantes que recibieron la intervención en Biología Molecular.
- Grupo Control: Los estudiantes que siguieron el currículo tradicional sin la intervención.

**Tabla 1:** Resultados pruebas pre y post test

Grupo	Pre-Test (Media)	Pre-Test (Desviación Estándar)	Post-Test (Media)	Post-Test (Desviación Estándar)	Incremento de Puntaje
Experimental	55.2	1.42	75.6	0.00	20.4
Control	54.8	1.42	58.3	1.42	3.5

- El grupo experimental muestra un incremento de 20.4 puntos entre el pre-test y el post-test, lo que refleja una mejora significativa en su conocimiento.
- El grupo control muestra un incremento de 3.5 puntos, indicando una mejora mucho más modesta en comparación con el grupo experimental.

Comparación de Puntajes Pre y Post-Test entre los Grupos Experimental y Control



**Fig. 1:** Comparación de resultados

- Grupo Experimental: Se observa un aumento significativo en los puntajes del post-test en comparación con el pre-test, lo que refleja la efectividad de la intervención educativa.
- Grupo Control: Aunque todavía hay una mejora, esta es mucho más modesta, lo que sugiere que, en ausencia de intervención, el cambio en el conocimiento fue mucho menor.

### Lista de cotejo

Permite observar de manera sistemática las clases del grupo experimental con el fin de registrar las estrategias pedagógicas empleadas por los docentes para integrar la Biología Molecular en la enseñanza de temas como la evolución y la diversidad biológica. Este proceso de observación facilita la identificación de las fortalezas y debilidades del proceso de enseñanza-aprendizaje, permitiendo una evaluación más detallada de la intervención educativa.

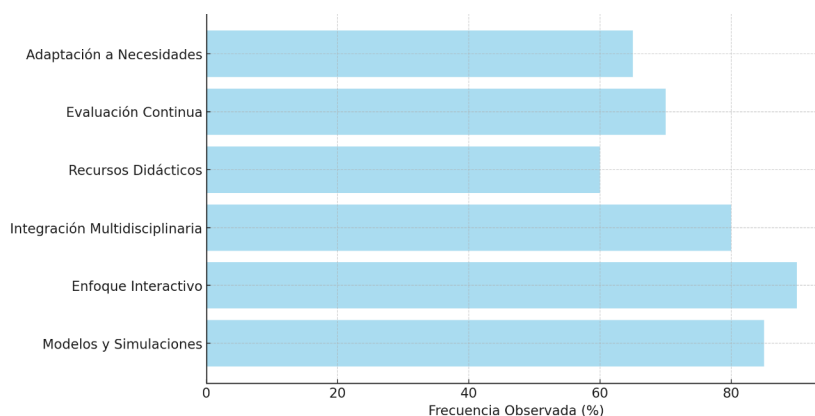
Por otra parte, la estructura de la lista de cotejo fue diseñada para evaluar una serie de criterios clave en las clases observadas:

- Uso de Modelos y Simulaciones: Evaluación del uso de herramientas pedagógicas, como modelos moleculares y simulaciones digitales, para ilustrar conceptos complejos.
- Enfoque Interactivo: Se valoró si el docente fomentaba la participación activa de los estudiantes a través de actividades prácticas y discusiones.
- Integración Multidisciplinaria: Se observó si los docentes integraban la Biología Molecular con otros campos científicos, como la genética y la biotecnología.
- Recursos Didácticos Utilizados: Evaluación de la calidad y diversidad de los recursos didácticos utilizados durante la clase, como materiales físicos, digitales y otros apoyos visuales.
- Evaluación Continua: Se registró si los docentes realizaban evaluaciones frecuentes y formativas para medir la comprensión de los estudiantes durante las clases.
- Adaptación a las Necesidades del Estudiante: Se observó si los docentes ajustaban su enseñanza según las necesidades de aprendizaje de los estudiantes.

**Tabla 2:** Resultados lista de cotejo

Estrategia	Tipo	Descripción	Evaluación (%)
Uso de Modelos y Simulaciones	Fortaleza	Los docentes utilizaron de manera efectiva modelos moleculares y simulaciones digitales para explicar conceptos como mutación y selección natural.	85
Enfoque Interactivo	Fortaleza	Se fomentó el aprendizaje activo a lo largo del curso, lo que incluyó a los estudiantes en actividades prácticas, experimentos y discusiones en grupo.	90
Integración Multidisciplinaria	Fortaleza	Los profesores lograron vincular la Biología Molecular con otras áreas de la ciencia, como la genética y la biotecnología.	80
Recursos Didácticos Utilizados	Debilidad	Algunos docentes carecían de materiales físicos adecuados, como modelos moleculares y otros apoyos visuales.	60
Evaluación Continua	Debilidad	Las evaluaciones fueron limitadas en frecuencia y no reflejaron el progreso individual de los estudiantes.	70
Adaptación a las Necesidades del Estudiante	Debilidad	En algunas clases, los docentes no ajustaron las actividades para atender las diferencias de aprendizaje.	65

A continuación, se presenta un gráfico de barras que muestra la frecuencia con la que se observaron las distintas estrategias pedagógicas en las clases del grupo experimental. Este gráfico permite visualizar de manera clara las fortalezas y debilidades del proceso de enseñanza-aprendizaje.



**Fig. 2:** Frecuencia de estrategias pedagógicas

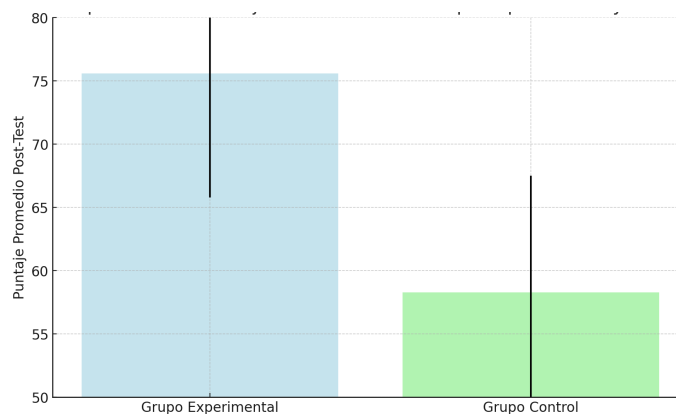
Modelos, simulaciones y el enfoque interactivo son las estrategias más frecuentemente observadas, reflejando una enseñanza activa y visualmente enriquecedora que favorece la comprensión de los estudiantes.

Recursos didácticos, adaptación NEE son las áreas con mayores debilidades, lo que indica que aún hay espacio para mejorar la disponibilidad de recursos y personalizar mejor la enseñanza.

Este gráfico permite visualizar de manera clara las fortalezas y debilidades del proceso de enseñanza-aprendizaje en el grupo experimental.

### Prueba T

Los efectos de la intervención se midieron mediante la prueba t, comprobando las medias de la prueba post del grupo experimental y del grupo de control, además se analiza, los cambios pre y post para ver si las diferencias encontradas eran estadísticamente significativas. Por tal motivo, se establece la hipótesis nula ( $H_0$ ) supone que no hay diferencias significativas entre las puntuaciones de la prueba pre y post de los dos grupos, mientras que la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) supone que sí las hay. En este caso, se calcula la estadística t y el valor p para la prueba principal en la post y se toma una decisión, basada en el nivel de significancia elegido, sobre si la evidencia justifica o no el rechazo de la  $H_0$ , basándose en la suposición de que el impacto fue causado por la intervención.



**Fig. 3:** Comparación de puntajes

El valor de t para este caso es 10.48 y el valor p es  $1.3e-14$ , que es mucho más bajo que el umbral de significancia  $p < 0.05$ , por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que hay evidencia estadísticamente significativa suficiente para apoyar la afirmación de que las puntuaciones del post-test del grupo experimental difieren del grupo de control.

#### Interpretación:

El valor p, extremadamente bajo, indica que la diferencia observada no se debe al azar y sugiere con fuerza que la incorporación de Biología Molecular en el grupo experimental impacta de manera significativa el rendimiento de los estudiantes; en efecto, la mejora alcanzada por este grupo supera claramente a la del

grupo control, lo que aporta evidencia sólida de que integrar contenidos de Biología Molecular en el currículo favorece de forma sustantiva la comprensión de los temas de biología evolutiva.

### **Análisis cualitativo**

El análisis cualitativo de esta investigación se centra en las observaciones de las clases del grupo experimental, donde se utilizaron métodos de codificación temática para identificar patrones y categorías clave. Este proceso permite obtener una comprensión profunda de las opiniones de los docentes sobre la integración de Biología Molecular en sus lecciones de biología evolutiva, así como los desafíos y lagunas percibidas en la implementación de este enfoque educativo.

#### **1. Métodos de Codificación Temática**

En el análisis de observaciones de clases, se utilizó la codificación temática para identificar y clasificar las opiniones de los profesores, los desafíos de la enseñanza y las lagunas en la comprensión:

- Fortalezas del enfoque de Biología Molecular
- Desafíos en la implementación
- Lagunas en las percepciones de los docentes
- Impacto percibido en los estudiantes

#### **2. Fortalezas del Enfoque de Biología Molecular**

**Tabla 3:** Fortalezas del proceso de enseñanza

Ventaja	Descripción	Cita Docente
Mejora de la comprensión de conceptos abstractos	Los modelos moleculares y las simulaciones digitales ayudaron a los estudiantes a visualizar y comprender procesos biológicos complejos como la mutación y la selección natural.	“Ver cómo funciona la selección natural a nivel molecular realmente ayuda a los estudiantes a entender la teoría de manera más concreta. Los modelos moleculares son una herramienta poderosa.”
Participación activa de los estudiantes	El uso de simulaciones y actividades prácticas promovió un enfoque activo en el aprendizaje, donde los estudiantes participaron activamente en la creación y el análisis de modelos moleculares.	“La participación de los estudiantes aumentó considerablemente. Ellos se entusiasmaron más al trabajar con simulaciones y realizar actividades experimentales.”

#### **3. Desafíos en la Implementación**

A pesar de las fortalezas mencionadas, los docentes enfrentaron varios desafíos en la implementación de la Biología Molecular en sus lecciones:

**Tabla 4:** Desafíos identificados en el proceso de enseñanza

Desafío	Descripción	Cita Docente
Falta de recursos adecuados	Muchos docentes señalaron la falta de materiales físicos adecuados, como modelos moleculares y kits de laboratorio, lo que limitó la efectividad de la intervención. Si bien se utilizaron simulaciones digitales, la ausencia de recursos prácticos fue vista como un obstáculo para una experiencia de aprendizaje más completa.	“Las simulaciones son útiles, pero los estudiantes realmente necesitan trabajar con modelos físicos para tener una experiencia de aprendizaje más profunda. Algunos estudiantes no se conectan tanto con lo digital.”
Tiempo limitado	La integración de temas adicionales como la Biología Molecular requirió más tiempo del que los docentes disponían dentro del currículo, lo que dificultó una implementación profunda de los contenidos.	“Incorporar la Biología Molecular toma tiempo, y con el currículo ya ajustado, a veces sentimos que estamos corriendo para cubrir todo.”

#### **4. Lagunas en las Percepciones de los Docentes**

Algunos docentes manifestaron lagunas en su comprensión sobre cómo integrar eficazmente la Biología Molecular en sus lecciones de biología evolutiva. Esto reflejó una falta de familiaridad con la tecnología educativa y las estrategias pedagógicas necesarias para implementar este enfoque de manera óptima:

**Tabla 5:** Desafíos en la Enseñanza de Biología Molecular

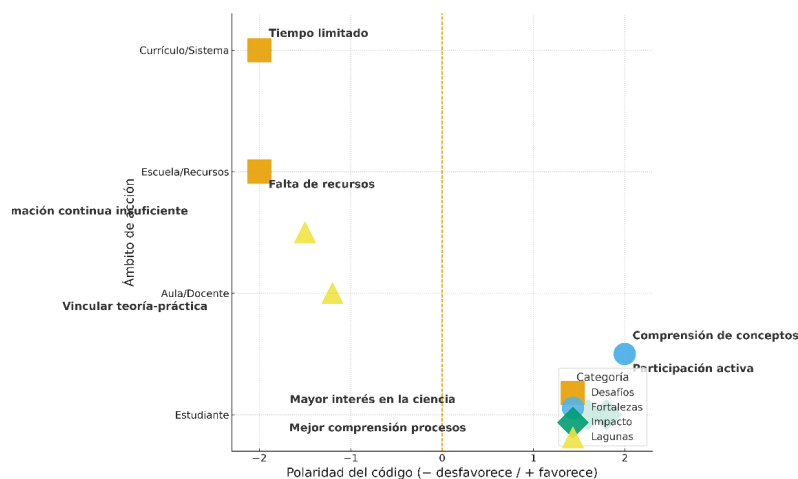
Desafío	Descripción	Cita Docente
Falta de formación continua	Varios docentes mencionaron que, aunque estaban familiarizados con los conceptos básicos de la biología molecular, no habían recibido suficiente formación especializada para integrar completamente estos conceptos en su enseñanza.	“Sé lo que es la Biología Molecular, pero no tengo mucha formación sobre cómo enseñarla de manera efectiva a nivel de secundaria. A veces me siento inseguro al abordar estos temas.”
Dificultad para vincular la teoría con la práctica	Algunos docentes también señalaron dificultades al vincular la teoría de la Biología Molecular con las actividades prácticas en el aula, lo que limitó la efectividad del enfoque.	“Aunque la teoría es fascinante, me cuesta conectar todos esos conceptos con lo que realmente podemos hacer en el aula sin los recursos adecuados.”

**5. Impacto Percibido en los Estudiantes**

Los docentes también compartieron sus percepciones sobre el impacto de la Biología Molecular en el aprendizaje de los estudiantes:

**Tabla 6:** Impacto de la Biología Molecular en el Aprendizaje

Impacto	Descripción	Cita Docente
Mejora en la comprensión de los procesos biológicos	Muchos docentes destacaron que los estudiantes mostraron una mejor comprensión de procesos biológicos complejos como la mutación y la selección natural. Las actividades prácticas y las simulaciones ayudaron a los estudiantes a visualizar estos procesos a un nivel molecular.	“He notado que los estudiantes pueden explicar mejor la evolución cuando se les presentan los conceptos a nivel molecular. Puedo ver que entienden más profundamente los procesos.”
Mayor interés en la ciencia	El uso de la Biología Molecular aumentó el interés de los estudiantes por la ciencia, especialmente entre aquellos que normalmente no mostraban tanto entusiasmo en la materia.	“Los estudiantes que antes no se interesaban mucho en la biología ahora están más motivados. Quieren saber más sobre genética y biotecnología.”



**Fig. 4:** Mapa de dispersión

El mapa evidencia que integrar Biología Molecular en la enseñanza de evolución activa el razonamiento mecanicista (gen→proteína→rasgo→selección) y la codificación dual (verbal+visual), disminuyendo la carga cognitiva intrínseca mediante simulaciones y modelos que funcionan como andamiajes para el aprendizaje activo y generativo; por eso las fortalezas e impactos aparecen con polaridad positiva en ámbitos próximos al estudiante/aula, donde se observa mayor comprensión explicativa y motivación; en

contraste, los desafíos de recursos y tiempo incrementan la carga extrínseca, restringen experiencias encarnadas y práctica espaciada, y desplazan los puntos hacia ámbitos escuela/currículo; las lagunas docentes señalan necesidades de PCK/TPACK: sin formación didáctica y tecnológica específica, las herramientas digitales pueden convertirse en “detalles seductores” que interfieren con la construcción de esquemas y el puente teoría-actividad; en conjunto, el mapa orienta intervenciones multinivel: (1) proximales, diseñando tareas con andamiajes y evaluación formativa para consolidar modelos moleculares transferibles, y (2) estructurales, asegurando kits/laboratorio y tiempos curriculares, además de desarrollo profesional docente, para que las representaciones moleculares se traduzcan en razonamiento evolutivo sólido y sostenible.

## DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas tanto pre y post test, evidencian una mejora considerable en el grupo experimental sobre el grupo de control. Los estudiantes del grupo experimental recibieron contenidos de biología molecular, aumentaron su puntuación en 20,4 puntos, por otro lado, el grupo de control, quien tuvo enseñanza con el currículo tradicional, aumento un 3.5 puntos. La diferencia se considera significativa y valida la efectividad de la intervención y se comprueba que, integrar enfoques y contenidos innovadores, mejora el proceso de enseñanza aprendizaje.

De este modo, Pérez et al., en su estudio denominado “La integración de la biología molecular en la enseñanza de la biología evolutiva”, afirman que, “el enfoque molecular en la enseñanza de la biología mejora la comprensión de los conceptos complejos de la evolución, lo que se refleja en una mayor adquisición de conocimiento” (2025, p. 193). El estudio respalda la mejora observada en el grupo experimental del presente estudio, ya que se evidencia un incremento significativo en su comprensión de los conceptos biológicos.

Además de esto, observar las estrategias didácticas utilizadas en el grupo experimental mostró la mejora en el aprendizaje impulsada por la implementación de la modelización molecular y las simulaciones digitales. En concordancia, Fiad y Galarza (2015) también confirmaron en su investigación que “el uso de simulaciones digitales en la enseñanza de la biología favorece la visualización de conceptos abstractos, promoviendo un aprendizaje más profundo”. Por lo tanto, en el presente estudio, estas herramientas fueron empleadas en un 85% de las clases observadas, lo que coincide con su efectividad y afirma su importancia en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Ciertamente, se identificaron otras áreas de debilidad, como la ausencia de recursos físicos de enseñanza adecuados (60%) y la necesidad de un alto grado de individualización en el proceso de enseñanza (65%). Estos desafíos son consistentes con los hallazgos de Tibell y Rundgren (2017), quienes reportaron que “la falta de materiales físicos y la escasa formación docente dificultan la implementación efectiva de nuevas metodologías” (p. 28). En este estudio, la ausencia de modelos moleculares físicos limitó la experiencia de aprendizaje, lo que indica la necesidad de mejorar los recursos tangibles en el aula.

En cuando a la comparación de las medias de los puntajes post-test entre los dos grupos reveló una diferencia estadísticamente significativa de  $t = 10.48$ ,  $p < 0.05$ . Este resultado rechaza la hipótesis nula, lo que confirma que la intervención en Biología Molecular tuvo un impacto positivo en el rendimiento del grupo experimental. Para Gómez y Vivó destacan que “la aplicación de enfoques interactivos y participativos mejora significativamente los resultados de aprendizaje” (2021, p.206). También encontraron resultados similares en su estudio, donde la implementación de metodologías centradas en el estudiante, como el uso de simulaciones, llevó a mejoras sustanciales en el rendimiento académico en ciencias.

El análisis cualitativo de las clases observadas reveló que, la inserción de temas sobre Biología Molecular aumentó la motivación y el interés de los estudiantes, adicional Los docentes reportaron una mayor participación activa, especialmente de aquellos que previamente mostraban poco interés en la biología. Este hallazgo es consistente con los resultados obtenidos por Vásquez et al., quienes indicaron que “el uso de métodos interactivos, como simulaciones y actividades prácticas, incrementó significativamente la motivación de los estudiantes hacia las ciencias” (2021, p. 118). En este sentido, los docentes señalaron que el uso de actividades prácticas y simulaciones digitales mejoró el compromiso de los estudiantes con los temas de genética y biotecnología.

A pesar de los logros, hubo desafíos, como la insuficiente formación continua para los maestros y las dificultades en la conexión de la teoría con la práctica en el aula. Asimismo, Lugo et al., también identificaron estos obstáculos, señalando que “la ausencia de una formación adecuada obstaculiza la efectividad de las intervenciones pedagógicas innovadoras, lo que dificulta la capacidad de los docentes para integrar eficientemente la Biología Molecular en el currículo” (2022, p. 14). En contraste, algunos docentes expresaron inseguridad sobre cómo enseñar estos temas de manera efectiva, lo que refuerza la necesidad de programas de formación continua en este campo.

## CONCLUSIÓN

Los hallazgos confirman que integrar contenidos de Biología Molecular en la enseñanza de evolución produce mejoras sustantivas y significativas en el aprendizaje: el grupo experimental incrementó su rendimiento en 20.4 puntos y la comparación de medias post-test arrojó un efecto estadísticamente robusto ( $t=10.48$ ;  $p=1.3e-14$ ). Esta ganancia cuantitativa se triangula con la evidencia cualitativa: docentes y estudiantes reportan mayor claridad conceptual, participación activa y capacidad para explicar la mutación y la selección natural a un nivel causal y no meramente descriptivo.

De igual manera se afirma que, integrar contenidos de Biología Molecular en la enseñanza de evolución produce mejoras sustantivas y significativas en el aprendizaje: el grupo experimental incrementó su rendimiento en 20.4 puntos y la comparación de medias post-test arrojó un efecto estadísticamente robusto ( $t=10.48$ ;  $p=1.3e-14$ ). Esta ganancia cuantitativa se triangula con la evidencia cualitativa: docentes y estudiantes reportan mayor claridad conceptual, participación activa y capacidad para explicar la mutación y la selección natural a un nivel causal y no meramente descriptivo.

Al mismo tiempo, el estudio visibiliza cuellos de botella sistémicos que condicionan la sostenibilidad de los resultados: la disponibilidad limitada de materiales físicos y tiempo curricular, así como brechas de PCK/TPACK en el profesorado, dificultan el puente teoría-actividad. Sin una formación continua específica y sin espacios de práctica guiada, las herramientas digitales corren el riesgo de convertirse en recursos accesorios más que en palancas de comprensión profunda.

De ello se desprenden implicaciones concretas para la gestión escolar y la política curricular: (a) dotación progresiva de kits y materiales manipulables que complementen las simulaciones; (b) ajustes de microcurrículo que aseguren tiempo para indagación, discusión y evaluación formativa; (c) programas de desarrollo profesional que integren didáctica de lo molecular, diseño de tareas de alto valor cognitivo y uso crítico de datos reales (secuencias, alineamientos, árboles filogenéticos); y (d) comunidades de práctica docente que compartan secuencias didácticas y criterios de evaluación comunes.

Asimismo, los resultados invitan a consolidar una cultura de evaluación justa y humanizada: instrumentos formativos frecuentes, rúbricas que valoren explicaciones causales y transferencia, y estrategias de diferenciación (p. ej., diseño universal para el aprendizaje) que atiendan la diversidad de ritmos y capitales culturales. Garantizar acceso equitativo a recursos físicos y digitales es imprescindible para que la innovación no amplíe brechas, sino que habilite oportunidades reales para todos.

Como toda investigación aplicada, existen límites a considerar: el muestreo intencional en tres escuelas reduce la generalización; los efectos se estiman a corto plazo y convendría observar su estabilidad temporal; y la observación de aula, aun estructurada, puede estar expuesta a sesgos contextuales. Estas restricciones no invalidan los hallazgos, pero orientan una lectura prudente y un diseño más robusto de futuras intervenciones.

Como toda investigación aplicada, existen límites a considerar: el muestreo intencional en tres escuelas reduce la generalización; los efectos se estiman a corto plazo y convendría observar su estabilidad temporal; y la observación de aula, aun estructurada, puede estar expuesta a sesgos contextuales. Estas restricciones no invalidan los hallazgos, pero orientan una lectura.

## REFERENCIAS

- Arboleda, J. (2021). *Educación, tecnología y conocimiento*. REDIPE Red Iberoamericana de Pedagogía. <https://doi.org/978-1-951198-86-2>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria. <https://doi.org/978-607-744-748-1>
- Basulto, G., Gómez, F., & González, O. (2017). Enseñar y aprender Biología desde el enfoque sociocultural-profesional. *La revista electrónica EduSol*, 17(67), 70-81. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/4757/475753289019/html/>
- Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia. (2022). *La investigación científica como creadora de nuevo conocimiento*. Eidec Editorial. <https://doi.org/https://doi.org/10.34893/i1455-6002-3296-b>
- Fiad, S., & Galarza, O. (2015). El Laboratorio Virtual como Estrategia para el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje del Concepto de Mol. *Formación Universitaria*, 8(4), 3-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062015000400002>
- GCF Global. (2025). *Tipos de muestreo*. <https://edu.gcfglobal.org/es/estadistica-basica/tipos-de-muestreo/1/>
- Gómez, B., & Vivó, S. (2021). Pruebas de significación en Bioestadística. *Revista de Diagnóstico Biológico*, 50(40), 207-218.

- [https://doi.org/http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-79732001000400008&lng=es&tlng=es](https://doi.org/http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-79732001000400008&lng=es&tlng=es)
- González, L., & Meidarni, E. (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 21(1), 101-122. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- Hernández, C., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill. <https://doi.org/978-1-4562-2396-0>
- Lugo, G., Apodaca, C., Lugo, T., Chávez, R., & Ochoa, P. (2022). Intervención pedagógica y obstáculos frente a la educación virtual en el área de química de la preparatoria el fuerte. *Revista Multidisciplinar Ciencia Latina*, 6(6), 1-17. [https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4896](https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4896)
- Palella, S., & Martins, F. (2016). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Editorial de Universidad Pedagógica Experimental Libertador. <https://doi.org/https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w23578w/w23578w.pdf>
- Pérez, R., Couto, J., & Michel, Q. (2025). Enseñanza de la Biología Molecular y la Biodiversidad: Integración y consideraciones bioéticas. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa*, 4(3), 192-198. <https://doi.org/https://doi.org/10.62697/rmiie.v4i3.233>
- Rubio, S., Pacheco, R., Gómez, A., Perdomo, S., & García, R. (2019). Secuenciación de nueva generación (NGS) de ADN: presente y futuro en la práctica clínica. *Revista Pontificia Universidad Javeriana*, 61(2), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed61-2.sngs>
- Tibell, L., & Rundgren, C. (2017). Desafíos educativos de las ciencias moleculares de la vida: características e implicaciones para la educación y la investigación. *CBE Educación en Ciencias de la Vida*, 9(1), 25-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1187/cbe.08-09-0055>
- Vázquez, S., Latorre, C., & Liesa, M. (2021). Un análisis cualitativo de la motivación ante el aprendizaje de estudiantes de educación secundaria. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 32(1), 116-131. <https://doi.org/https://doi.org/10.5944/reop.vol.32.num.1.2021.30743>
- Verdezoto, J., Chicaiza, C., & Navarrete, V. (2023). Estrategia de enseñanza de Biología Molecular para la edición genética In Silico: Una experiencia disruptiva. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*, 11(1), 55-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.26423/rcpi.v11i1.684>