



Análisis del determinismo genético en estudiantes de Costa Rica

Analysis of Genetic Determinism among Students in Costa Rica

Lucía Elizabeth Rivera-Fallas

Escuela de ciencias biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica

lucia.riveraf26@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3763-0202>

Gastón Mariano Pérez

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),

Instituto de investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas

y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

gastonperez@ccpems.exactas.uba.ar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-2042>

José Miguel Pereira-Chaves

Escuela de ciencias biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica

jose.pereira.chaves@una.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6056-3364>

Andrew José Lindwedel Cruz

Investigador independiente, Universidad Nacional, Costa Rica

andrewjlc13@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4496-3958>

RESUMEN • El determinismo genético supone que los genes determinan las características con escasa o nula influencia del ambiente. Diversos estudios han mostrado que los estudiantes tienden a pensar de manera determinista en las clases de biología, lo que termina convirtiéndose en un obstáculo epistemológico en la enseñanza. Esta investigación analizó el acuerdo de 648 estudiantes participantes en las Olimpiadas Costarricenses de Ciencias Biológicas 2024 sobre el determinismo genético en rasgos fisiológicos, morfológicos y comportamentales. Mediante un análisis mixto, se realizaron pruebas de frecuencias y chi-cuadrado de una vía, además de un análisis temático de las explicaciones dadas. Se encontró un alto grado de acuerdo con el determinismo genético en rasgos fisiológicos y morfológicos, pero menor en rasgos comportamentales. En las explicaciones se encontró también un determinismo ambiental.

PALABRAS CLAVE: Determinismo genético; Obstáculos epistemológicos; Olimpiadas de Biología.

ABSTRACT • Genetic determinism posits that genes define individual traits with minimal or no influence from environmental factors. Numerous studies have shown that students often adopt deterministic thinking in biology classes, which can pose an epistemological obstacle to learning. This study analyzed the degree of agreement with genetic determinism among 648 students who participated in the 2024 Costa Rican Biology Olympiad, focusing on physiological, morphological, and behavioral traits. Using a mixed-methods approach, we conducted frequency analyses and one-way chi-square tests, along with thematic analysis of students' written explanations. The results revealed a high level of agreement with genetic determinism in physiological and morphological traits, and a lower level of agreement for behavioral traits. Explanations also reflected a presence of environmental determinism.

KEYWORDS: Genetic determinism; Epistemological obstacles; Biology Olympiad.

Recepción: diciembre 2024 • Aceptación: mayo 2025 • Publicación: noviembre 2025

Rivera-Fallas, L. E., Pérez, G. M., Pereira-Chaves, J. M. y Lindwedel Cruz, A. J. (2025).

Análisis del determinismo genético en estudiantes de Costa Rica. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(3), 115-129.

<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6378>

INTRODUCCIÓN

Se reconoce ampliamente que el pensamiento crítico debe ser una dimensión clave en la educación científica (Bailin, 2002), sobre todo en contextos donde la posverdad atraviesa la vida cotidiana de los sujetos (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2022). Pensar de manera crítica implicará diversidad de habilidades que desarrollar y disposiciones frente a situaciones como argumentar, evaluar la credibilidad de las fuentes de información o detectar falacias (Blanco-López et al., 2017). Es clave que este desarrollo de habilidades esté acompañado de la comprensión de algunos modelos básicos de las ciencias que se aprenden en las escuelas (Tamayo et al., 2015). Sin embargo, este aprendizaje no siempre garantiza que los¹ estudiantes desarrollen dicho pensamiento crítico (González Galli, 2020). Una de las causas de esta dificultad radica en la presencia de obstáculos epistemológicos (OE), modos de razonar que poseen los sujetos que tienden a dificultar el aprendizaje de los modelos científicos (Pérez et al., 2021). Un ejemplo de OE que abordaremos en este trabajo es el determinismo, un modo de razonamiento que implica suponer que el desarrollo de los fenómenos está necesariamente determinado por las condiciones iniciales, sin una asignación de probabilidades al estado futuro.

En el campo del aprendizaje de la biología, el determinismo toma la forma de determinismo genético, que supone que los genes determinan invariablemente las características de los individuos, de modo que los resultados se ven poco o nada afectados por el ambiente (Stern et al., 2023). Siguiendo esta línea, Ageitos y Puig (2021) señalan que, en un estudio sobre cómo se presenta el modelo de expresión génica en los libros de texto de secundaria, se revela que la mayoría de las actividades no comprometen al estudiante en la aplicación de este modelo a diversos contextos, ni en la identificación de factores ambientales que influyen en la expresión de los genes. Así es que es posible que el estudiante refuerce el pensamiento determinista en el ámbito de la genética escolar, asumiendo que los genes determinan los rasgos fenotípicos. Asimismo, Puig y Jiménez-Aleixandre (2015) destacan en su investigación, sobre el modelo de expresión génica y el determinismo en libros de texto, que ninguno de los textos analizados aborda explícitamente el determinismo biológico. Y sugieren la necesidad de que los libros incorporen el modelo de expresión génica para fomentar el desarrollo del pensamiento crítico en los estudiantes sobre el determinismo. Además de los libros de texto, los estudiantes en general están expuestos a medios de comunicación o redes sociales que promueven también el determinismo genético (Dar-Nimrod y Heine 2011; González Galli, 2020). Entonces, sin una discusión explícita sobre los alcances y las limitaciones de este modo de pensar, es posible que los estudiantes acepten interpretaciones deterministas genéticas sin cuestionarlas críticamente (González Galli, 2020).

En Latinoamérica, en general, y en Costa Rica, en particular, es poca la investigación respecto de cómo aparece el determinismo genético en la escuela. En el sistema educativo de Costa Rica, en los últimos años se han incorporado proyectos dirigidos a estudiantes de diferentes niveles académicos, con el objetivo de que adquieran e integren tanto habilidades blandas como científicas, preparándose para enfrentar los retos de una sociedad globalizada. Uno de estos proyectos es la Olimpiada Costarricense de Ciencias Biológicas (OLICOCIBI) (Esquivel y Morera, 2022), cuyo fin es fomentar el interés de los estudiantes por la biología, y así contribuir al desarrollo científico y tecnológico del país (Herrera et al., 2017). Los estudiantes participantes de OLICOCIBI presentan interés por la biología, y podríamos hipotetizar que, a pesar de no haberlo trabajado explícitamente en la escuela, presentarán una mayor atención sobre el determinismo genético. Dicho esto, en este trabajo nos preguntamos cómo es el grado de acuerdo de los estudiantes participantes de las OLICOCIBI del 2024 en relación con el determinismo genético en rasgos fisiológicos, morfológicos y comportamentales, y cómo son

1. En el artículo hemos tomado la decisión de que la escritura fuese en género masculino con el fin de facilitar la lectura. Sin embargo, somos conscientes de que este tipo de escritura deja por fuera un amplio universo de expresiones de género existentes o por existir.

las explicaciones que ofrecen estos estudiantes en relación con este grado de acuerdo. Estas preguntas guiaron el tipo de análisis que se llevó adelante en este trabajo. Este permitirá pensar en oportunidades para mejorar el desarrollo del pensamiento crítico en la escuela.

MARCO TEÓRICO

El determinismo genético como obstáculo epistemológico

En el ámbito de la didáctica de las ciencias naturales, los obstáculos epistemológicos (OE) reflejan formas de pensamiento que poseen los sujetos y que cumplen con tres características clave según González Galli y Meinardi (2015): 1) son transversales, en tanto que se aplican a una amplia gama de contenidos y situaciones; 2) son funcionales, lo que permite al individuo explicar y comprender diversos fenómenos del mundo; y 3) compiten con el modelo científico que busca aprender, ya que ambos sistemas conceptuales ofrecen explicaciones para los mismos fenómenos.

Existen diversos obstáculos epistemológicos documentados en la bibliografía (Ballena et al., 2021; Hartelt et al., 2022; Pérez et al., 2021; Pérez y González Galli, 2024; Stern et al., 2023), como la teleología, el esencialismo, el razonamiento causal lineal o el antropomorfismo, entre otros. En este trabajo abordaremos el determinismo. Este es un razonamiento que implica suponer que el estado presente de un sistema define directamente su futuro, sin atribuir probabilidades a las diferentes condiciones que puede presentar el futuro (Pérez y González Galli, 2020; Pinker, 2003). Dada una condición A para el sistema, se decidirá el futuro B para el sistema, sin posibilidad de que sea otro futuro.

En el ámbito de la biología, el determinismo adquiere la forma particular de determinismo genético. Este contexto se corresponde con la idea de que los genes determinan invariablemente las características, de modo que los resultados se ven poco o nada afectados por los cambios en el ambiente (Condit, 2019; Condit et al., 2004; Dar-Nimrod y Heine, 2011; Franck y Vanney, 2018; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015; Stern et al., 2023). Según Condit (2011, citado en Gericke et al., 2021), podemos identificar tres componentes del determinismo genético: 1) la idea de que la genética implica un futuro cerrado; 2) la confrontación de los genes con otros agentes causales particulares (por ejemplo, la agencia personal, la estructura social, la cultura, los comportamientos personales o «el medio ambiente»); y 3) la cantidad de influencia asignada a los genes en la formación de rasgos, es decir, una creencia excesiva en el «poder de los genes».

En tanto que OE, el determinismo genético es transversal. Aparece en diversidad de contenidos que tienen que ver con la explicación de lo fisiológico, lo morfológico o lo comportamental de los seres vivos (Condit, 2019; Condit et al., 2004; Dar-Nimrod y Heine, 2011). Además, en algún sentido, es funcional, en distintos niveles. Por un lado, el determinismo en general sirve al estudiante, ya que reduce la incertidumbre en su vida diaria al brindarle una sensación de control frente a lo impredecible. Esto facilita la anticipación de acontecimientos y disminuye la carga cognitiva (Barragüés Fuentes y Guisasaola Aranzabal, 2006). Por otro lado, el determinismo genético, suele ser funcional, por ejemplo, en medicina. Dar-Nimrod y Heine (2011) sugieren que, si una persona tiene una serie de repeticiones de la secuencia CAG al final del cromosoma 4, esa persona desarrollará la enfermedad de Huntington, si no muere prematuramente por otra causa. En este sentido, la enfermedad de Huntington está determinada por los genes. En general, esto tiende a pasar con las enfermedades o rasgos monogénicos, aunque cabe resaltar que son los menos y parecen ser la excepción más que la regla.

Como mencionamos, el determinismo es transversal y también funcional en ciertos contextos, pero el razonamiento determinista anclado al determinismo genético puede imponer algunas dificultades a los estudiantes a la hora de aprender modelos de la biología. Suponer que la genética implica un futuro cerrado, dificulta comprender el consenso que existe entre biólogos y biólogas respecto de que la acción

de los genes es probabilística (Gericke et al., 2021). Confrontar genes con otros agentes causales, como el ambiente, dificulta entender que cualquier rasgo fenotípico es el resultado de la interacción compleja del genotipo con el ambiente (Dar-Nimrod y Heine, 2011; Diéguez Lucena, 2021; Jobling et al., 2014; Klug et al., 2013). Por último, suponer que los genes tienen más influencia en la formación de rasgos, es decir, una creencia excesiva en el «poder de los genes», dificulta comprender que los genes y el ambiente son condiciones necesarias para la producción de fenotipos. De la misma manera que no podemos preguntarnos qué tiene más efecto en el sonido de un tambor, si los palillos o el parche, lo mismo ocurre con los genes y el ambiente (Castéra y Clément, 2014; Diéguez Lucena, 2021).

Pero, además de dificultar la comprensión de los modelos de la biología, el determinismo genético suele ser un modo de razonar que subyace tras discursos racistas, sexistas o clasistas, lo que se convierte en un problema clave en nuestras sociedades actuales (Ageitos y Puig, 2021; Castéra y Clément, 2014; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015).

En las clases de biología, al ser transversal, el determinismo genético se expresa de diferentes formas en las concepciones de los estudiantes. Por ejemplo, los estudiantes asumen que los genes son partículas físicas que determinan el fenotipo («el gen para el color de ojos»), pero no pueden explicar cómo (Castéra y Clément, 2014; Gericke y El-Hani, 2018; Stern et al., 2023). También suelen desconocer o no conectar el rol de las proteínas con la producción de fenotipos (Stern, 2020), a la vez que desprecian la influencia de los factores ambientales en los rasgos (Gericke y Hagberg, 2007). Además, tienen dificultades a la hora de ubicar la relación genes, ADN y cromosomas (Gericke y Hagberg, 2007; Lanie et al., 2004). En cuanto a los rasgos, las personas rara vez atribuyen características humanas únicamente a los genes o únicamente al ambiente, sin embargo, se ha encontrado que tienden a rechazar en mayor medida las atribuciones genéticas de los rasgos conductuales y psicológicos, más no así de los morfológicos (Byrd y Ray, 2015; Condit, 2019; Condit et al., 2004; González Galli et al., 2018; Hammann et al., 2021; Parrot et al., 2003).

Todas estas dificultades que expresa el determinismo genético se encuentran en un marco más amplio de dificultades en torno al aprendizaje de la biología en general, y de la genética en particular. Diversas investigaciones han mostrado las dificultades en torno al uso de analogías en genética (González Galli, 2023), en torno a la relación entre los genes y los niveles de organización (Ayuso y Banet, 2002; Gericke y El-Hani, 2018) o en torno a la confusión entre términos específicos (Ayuso y Banet, 2002; Bugallo-Rodríguez, 1995), por mencionar algunas.

METODOLOGÍA

Esta investigación adoptó un enfoque mixto, combinando métodos de los diseños cualitativos y cuantitativos (Palacios et al., 2023) con una orientación interpretativa o naturalista (Miranda y Ortiz, 2020). El objetivo de este estudio fue analizar el grado de acuerdo de los estudiantes participantes de las OLICOCIBI de 2024 en relación con el determinismo genético en rasgos fisiológicos, morfológicos y comportamentales. Además, se caracterizaron las explicaciones que ofrecían estos estudiantes respecto a su grado de acuerdo.

Contexto y sujetos

Participaron en esta investigación (N = 648) estudiantes inscritos en la 28.^a OLICOCIBI 2024. Esta inscripción es voluntaria, no requiere una preselección institucional, y puede participar cualquier estudiante de cualquier modalidad educativa del país, lo que incluye educación pública, privada, nocturna y alternativa. Este estudiantado se caracteriza por su afinidad y entusiasmo por la asignatura de Biología. Dado que existen otras olimpiadas en disciplinas como física, química, matemáticas y ciencias en

general, los participantes de OLICOCIBI han optado de manera exclusiva por la biología, reflejando un interés particular en esta ciencia. Este perfil de alumnado no solo busca poner a prueba sus conocimientos en un contexto de competencia académica, sino que también valora la oportunidad de interactuar con otros estudiantes apasionados por la biología, fortaleciendo así su formación científica y fomentando el pensamiento investigativo (Esquivel y Morera, 2022).

El 59,9 % de los estudiantes participantes se autoidentificaron como mujeres y el 40,1 % como hombres. La edad promedio fue de 17 años (SD = 1 año). Todos los participantes procedían de las distintas provincias de Costa Rica. De ellos, el 30,7 % cursaba décimo año, el 58,1 %, undécimo año y el 11,1 %, duodécimo año de secundaria. En relación con los conocimientos previos sobre genética, cabe destacar que, en el currículo oficial del Ministerio de Educación Pública de Costa Rica, la genética es un contenido que se aborda en la educación secundaria dentro de la asignatura de Biología. Específicamente, en décimo año se estudian principios fundamentales de genética, como la herencia mendeliana, la estructura y función del ADN, y la variabilidad genética. Además, en algunos programas se incluyen aspectos de biotecnología y su aplicación en la sociedad. Por lo tanto, todos los estudiantes participantes de este estudio habían tenido algún acercamiento previo con la temática.

Instrumento

Para la recolección de datos se diseñó un instrumento que se compuso de tres afirmaciones, en las que los estudiantes debían señalar su grado de acuerdo en una escala Likert de cinco puntos, bajo el siguiente puntaje: desde completamente de acuerdo (5) hasta completamente en desacuerdo (1). Las afirmaciones eran:

- Las adaptaciones fisiológicas de los organismos están definidas por su genética.
- Las adaptaciones morfológicas de los organismos están definidas por su genética.
- Las adaptaciones comportamentales de los organismos están definidas por su genética.

La selección de estas tres afirmaciones se basó en bibliografía previa sobre las atribuciones de las personas al poder de los genes en diferentes tipos de rasgos (Byrd y Ray, 2015; Condit, 2019; Condit et al., 2004; González Galli et al., 2018; Hammann et al., 2021; Parrott et al., 2003). Además, el instrumento fue revisado por tres investigadores especialistas en el área de la didáctica de la genética procedentes de Costa Rica y Argentina.

Después de la asignación de puntaje en la escala Likert, se solicitó a los estudiantes que explicaran su decisión. Además, se incluyó una pregunta adicional de afirmación o negación sobre si durante las clases de biología alguna vez habían trabajado sobre el determinismo.

El instrumento se envió a todos los inscriptos en las OLICOCIBI mediante correo electrónico a través de un Google Forms entre mayo y julio de 2024. En dicho correo, se solicitó el apoyo y la colaboración de los participantes para completar el instrumento de manera reflexiva y honesta. El instrumento fue suministrado por el tercer autor, quien además es el coordinador de la OLICOCIBI, garantizando así su pertinencia y validez en el contexto de la evaluación educativa dentro del marco de la olimpiada.

Método de análisis

A partir del *software* R (v.4.0) se llevó a cabo el análisis cuantitativo, en el que se aplicaron test de chi cuadrado (Quevedo, 2011) de una vía para evaluar la proporción de estudiantes que estaban de acuerdo, en desacuerdo o en término medio para cada pregunta.

Para el análisis cualitativo de las preguntas abiertas, se desarrolló un análisis temático (Braun y Clarke, 2013). Este tipo de análisis permite elaborar una explicación general a partir de la organización sistemática de los datos, identificando patrones de significado respecto de las explicaciones de los estudiantes. Con este tipo de metodologías se aspira a la comparabilidad de los datos, esto es, que las categorías elaboradas permitan ser una guía válida para la indagación en otros grupos, en otros contextos, sin la pretensión de una extrapolación directa. Para alcanzar esta comparabilidad se utiliza terminología estandarizada y se evitan las interpretaciones idiosincráticas (Braun y Clarke, 2013; Creswell, 2012; Flick, 2007). Para llevar adelante el análisis temático, se realizaron tres fases. En la primera, los primeros dos autores del trabajo elaboraron códigos de manera independiente que se asignaron a las explicaciones de los estudiantes, sustentados en la bibliografía y en los objetivos de la investigación. En la segunda, se agruparon los códigos buscando patrones, lo que devino en la creación de las categorías que se presentarán en el siguiente apartado. Este proceso involucró la identificación de similitudes entre códigos, realizando clústeres de ellos. La triangulación entre los tres investigadores de este *paper* permitió homogeneizar las categorías y dotarlas de significado en relación con los objetivos de la investigación. Se priorizó la presencia de categorías que surgieran de forma consistente en los análisis independientes de los investigadores. Se utilizaron aquí dos enfoques simultáneos: uno inductivo, en el que las categorías emergen del conjunto de datos, y otro deductivo, en el que las categorías se basan en la teoría y sirven para organizar la información (Braun y Clarke, 2013). A continuación, las categorías obtenidas fueron analizadas mediante estadística descriptiva a través de un análisis de frecuencias, y posteriormente se graficaron para visualizar la percepción estudiantil respecto de las afirmaciones. También se solicitó a los tres investigadores que habían validado el instrumento que validaran las categorías construidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron las frecuencias sobre el grado de acuerdo de los estudiantes respecto de las afirmaciones presentadas. En la figura 1 se muestra la frecuencia relativa del grado de acuerdo sobre las afirmaciones respecto de los rasgos fisiológicos (pregunta 1), morfológicos (pregunta 2) y comportamentales (pregunta 3).

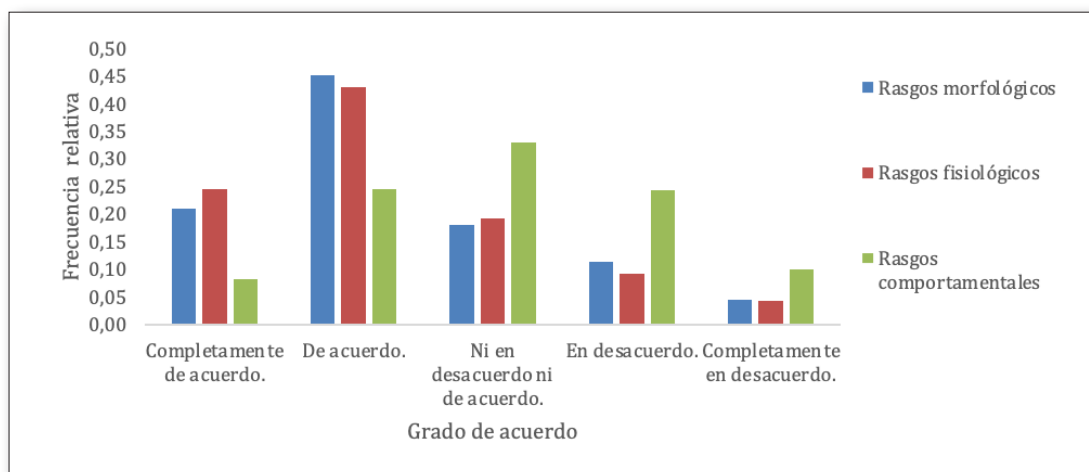


Fig. 1. Frecuencia relativa del grado de acuerdo sobre afirmaciones de adaptaciones biológicas (n = 648). Fuente: elaboración propia.

En relación con la figura 1, se observa que hay una mayor frecuencia de estudiantes que está de acuerdo o completamente de acuerdo con que los rasgos fisiológicos y morfológicos están definidos por la genética. Mientras que suelen no estarlo tanto respecto de los rasgos comportamentales. En la figura 2, se muestra la distribución del grado de acuerdo de los estudiantes en las tres afirmaciones relacionadas con los rasgos fisiológicos (pregunta 1), morfológicos (pregunta 2) y comportamentales (pregunta 3).

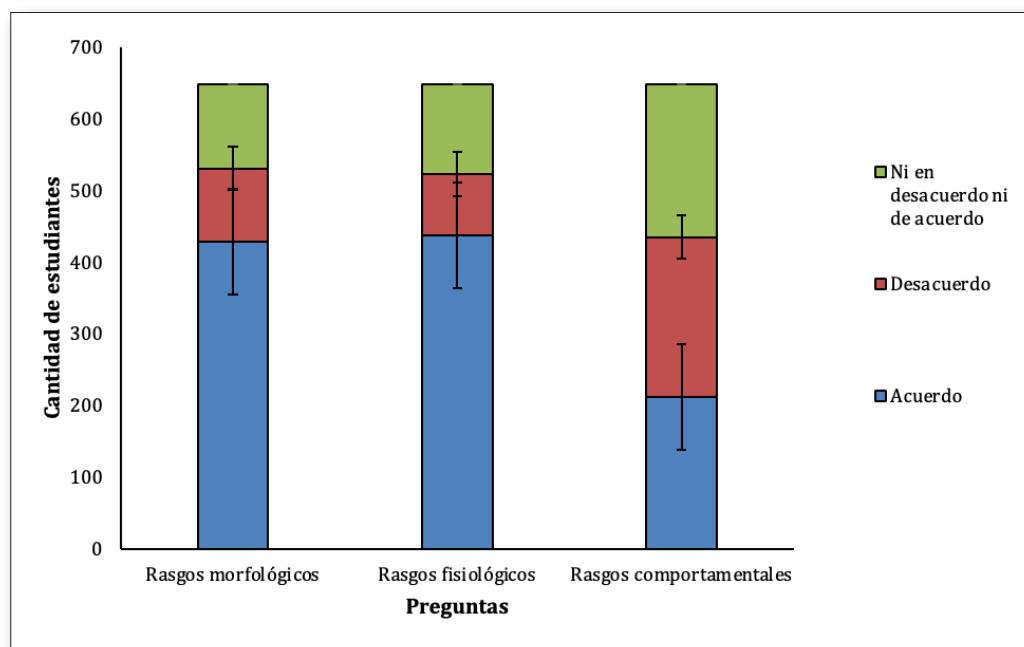


Fig. 2. Cantidad de estudiantes según la distribución de acuerdo, desacuerdo y en término medio en las diferentes preguntas (n = 648). Fuente: elaboración propia.

Respecto a la proporción de respuesta por cada pregunta, casi todas presentaron diferencias significativas. Para la pregunta 1 (las adaptaciones fisiológicas de los organismos están definidas por su genética) y la pregunta 2 (las adaptaciones morfológicas de los organismos están definidas por su genética), la proporción de estudiantes estuvo mayoritariamente de acuerdo ($\chi^2 = 315.58$, $\chi^2 = 342.69$, $gl=2$, $p<0.001^{***}$; figura 3). Sin embargo, en la pregunta 3 (las adaptaciones comportamentales de los organismos están definidas por su genética), no se presentaron diferencias entre las respuestas ($\chi^2 = 0.34$, $gl = 2$, $p = 0.84$; figura 3). Por lo tanto, se puede inferir que en la pregunta 3 hay un menor determinismo genético, al producirse un menor grado de acuerdo. Finalmente, para las tres primeras preguntas, la proporción entre estudiantes que se mostraron de acuerdo fue significativa ($\chi^2 = 90.7$, $gl = 2$, $p<0.001^{***}$), al igual que los que se mostraron en desacuerdo ($\chi^2 = 37.88$, $gl = 2$, $p<0.001^{***}$), y los que no se mostraron ni de acuerdo ni en desacuerdo ($\chi^2 = 81.91$, $gl=2$, $p<0.001^{***}$).

Al analizar las justificaciones que los estudiantes ofrecían ante el grado de acuerdo, hemos encontrado las categorías que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1.
Categorías construidas en base a las explicaciones de los estudiantes en las preguntas

<i>Categoría</i>	<i>Definición de la categoría</i>	<i>Ejemplos de explicaciones</i>
Determinismo genético	Son todas aquellas expresiones de los estudiantes que afirman que las adaptaciones fisiológicas, morfológicas o comportamentales están influidas solo por los genes (Condit, 2019; Dar-Nimrod y Heine 2011; Stern et al., 2023).	«Las adaptaciones están relacionadas con la genética debido a que los genes codifican proteínas y estructuras que determinan cómo el ser vivo se relaciona y funciona» (Julia). «Los patrones de comportamiento están codificados en el ADN» (María).
Determinismo ambiental	Son todas aquellas expresiones de los estudiantes que afirman que las adaptaciones fisiológicas, morfológicas o comportamentales dependen únicamente del ambiente.	«Están determinados por las condiciones del ambiente» (Daniela). «Depende del entorno del organismo» (Kevin).
Interacción de la genética y ambiente	Son todas las expresiones de los estudiantes que mencionan que las adaptaciones fisiológicas, morfológicas o de comportamiento dependen de la interacción de genes con el ambiente y que, a partir de esto, se expresa el fenotipo (Gericke et al., 2021).	«Esto no es totalmente cierto dado que las adaptaciones morfológicas no sólo están definidas por la genética, sino que también están definidas por el medio ambiente igual que en las fisiológicas. Puesto que un organismo necesita adaptar su estructura dependiendo del ambiente alrededor de él. Todo esto para que su cuerpo pueda realizar las funciones vitales y sobrevivir» (Juan). «Estoy de acuerdo en que la genética influya en esta adaptación, sin embargo, siento que el ambiente donde viva ese ser vivo también influye» (Ana).
Negación de la genética	En esta categoría se incluyen las expresiones de los estudiantes que justifican que las adaptaciones fisiológicas, morfológicas o de comportamiento no dependen de los genes.	«las adaptaciones fisiológicas no tienen nada que ver con genética» (Bernal). «Porque los comportamientos y personalidades no se heredan» (Christian).
Necesidad de la adaptación	En esta categoría se incluyen las expresiones de los estudiantes que afirman que las adaptaciones son en respuesta de las necesidades que impone la supervivencia de los organismos (González Galli y Meinardi, 2015).	«Ya que estas adaptaciones son un mecanismo de conducta que son para la supervivencia de la especie y para defender su territorio» (Natalie). «Sí, porque los cambios se pueden dar por motivos de salvar su especie» (Yeiner).

En la figura 3 se muestra la frecuencia relativa con la que aparecieron las categorías de la tabla 1 en la justificación del grado, de acuerdo con las adaptaciones fisiológicas, morfológicas y comportamentales.

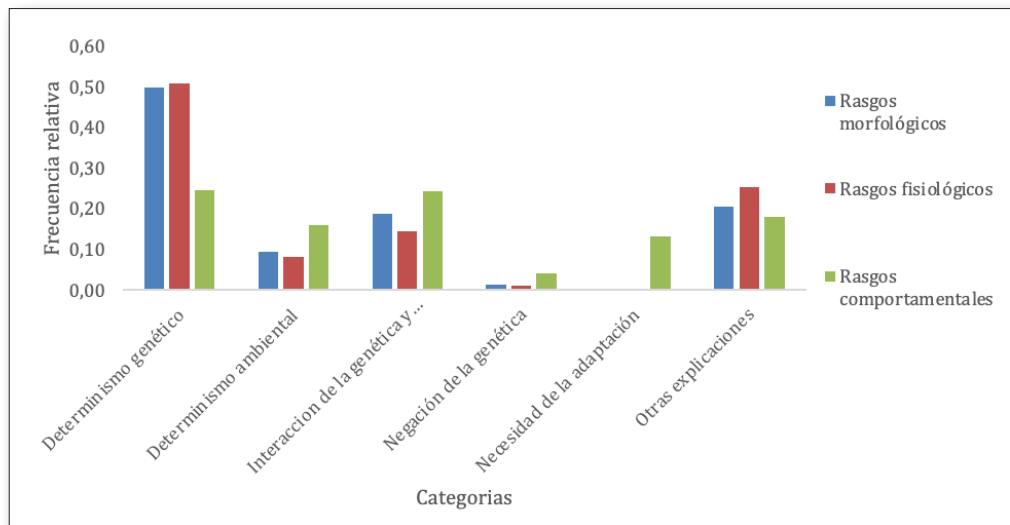


Fig. 3. Frecuencia relativa de las categorías derivadas de las respuestas sobre adaptaciones biológicas (n = 648).
Fuente: elaboración propia.

Como hemos mostrado en la figura 1, se observa que los estudiantes tienden a estar de acuerdo con que los rasgos fisiológicos y morfológicos están definidos por la genética. Esto coincide con las justificaciones proporcionadas por los estudiantes según se observa en la figura 3, donde parecen sostener que la genética es el factor determinante, reflejando un enfoque de determinismo genético. Esto se ve claramente, por ejemplo, en la respuesta de Julia, quien sostiene que «...los genes codifican proteínas y estructuras que determinan cómo el ser vivo se relaciona y funciona». En estos casos, se evidencia un conocimiento que no se ajusta a los actuales consensos entre biólogos, debido a que no se considera la probabilidad de que las adaptaciones estén influenciadas por factores adicionales a la genética (Condit, 2019; Franck y Vanney, 2018; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015; Rubio y Ayuso, 2023). En estos casos, no incluyen el ambiente en sus explicaciones y parecen despreciarlo. Sin embargo, encontramos otras explicaciones que parecen más bien despreciar lo genético (categoría: determinismo ambiental y categoría: negación de la genética). En estos otros casos, que poseen la mayor frecuencia relativa en la pregunta 3 (figura 3), los estudiantes asumen que quien determina las adaptaciones es el ambiente. Por ejemplo, Christian sostiene que «...los comportamientos y personalidades no se heredan».

Ahora bien, el alto grado de acuerdo con el determinismo genético puede deberse a múltiples causas. Hemos mencionado en el marco teórico los libros de textos que se utilizan en las escuelas (Ageitos y Puig, 2021; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015), pero también las formas de enseñanza (Gericke y Hagberg, 2007; Stern et al., 2023), el modo en que se comunica en los medios de comunicación o redes sociales (Dar-Nimrod y Heine 2011; González Galli, 2020; Lanie et al., 2004), e incluso el modo en que funciona nuestra mente (Kahneman, 2020). Con relación a los modos de enseñanza, hemos encontrado que el 79,2 % de los estudiantes afirman que nunca han trabajado sobre el determinismo en temas de biología en la escuela. Según lo anterior, podríamos hipotetizar que los estudiantes posiblemente no sean conscientes del determinismo, y mucho menos que puedan regularlo.

Por otro lado, encontramos que una menor frecuencia de estudiantes participantes de OLICO-CIBI no tienen una perspectiva determinista, justificando que los rasgos fisiológicos o morfológicos dependen de la interacción entre los genes y el ambiente. Por ejemplo, Juan menciona que «... no solo están definidas por la genética, sino que también están definidas por el medio ambiente...». Podemos suponer que estudiantes como Juan hacen referencia a que los rasgos son el producto de la interacción entre genes y entorno. De la misma manera, no podemos asegurar que estudiantes como Juan sean

conscientes del determinismo y que por ello tengan en cuenta factores ambientales, pero tenerlos en cuenta se acerca más a las ideas de la genética erudita (Gericke et al., 2021).

Por otro lado, en la figura 1, se puede observar que en la pregunta 3, sobre las adaptaciones comportamentales, se presenta una frecuencia similar entre los estudiantes que están de acuerdo y en desacuerdo con el determinismo genético. Al observar en la figura 3 las categorías que allí emergen con mayor frecuencia, se evidencia que los estudiantes asocian el comportamiento tanto con los genes solamente como con la interacción entre genes y ambiente. Por ejemplo, si tomamos la fundamentación realizada por Ana, ella indica que «Estoy de acuerdo en que la genética influya en esta adaptación, sin embargo, siento que el ambiente donde viva ese ser vivo también influye». Si bien no sabemos si da una mayor preponderancia a una causa sobre la otra, puede considerarse que Ana reconoce que tanto los genes como el entorno influyen en el comportamiento de los organismos. Esto concuerda con lo señalado por González Galli (2021), para quien, desde hace décadas, la biología ha establecido que ninguna característica biológica puede estar determinada completamente por los genes ni por el entorno. Así mismo, se resalta que la información genética presente en los genes desde el momento de la concepción no fija el futuro del desarrollo que seguirá el organismo (Carranza, 1994).

En cualquier caso, al comparar el grado de acuerdo con el determinismo genético para las adaptaciones fisiológicas y morfológicas, frente al grado de acuerdo con el determinismo genético para las adaptaciones comportamentales, así como los tipos de categorías que emergen en ambos casos, podemos visualizar que los estudiantes suelen apoyar más las explicaciones deterministas genéticas para adaptaciones fisiológicas y morfológicas que para adaptaciones comportamentales, lo que coincide con múltiples estudios (Byrd y Ray, 2015; Condit, 2019; Condit et al., 2004; da Silva Porto et al., 2015; Parrott et al., 2003). También, y a pesar de que las poblaciones y los contextos son diferentes, nuestros resultados concuerdan con otras investigaciones en estudiantes de nivel medio (Hammann et al., 2021; González Galli et al., 2018), quienes señalan que asocian con facilidad morfología-fisiología con diferencias genéticas, sin embargo, no consideran que estas diferencias tengan el mismo impacto en el comportamiento. Por otro lado, Gericke et al. (2021) mencionan que, en su estudio, los estudiantes de Brasil presentaron la atribución genética más alta a las enfermedades, mientras que los estudiantes de Suecia tuvieron la mayor sobre atribución genética a rasgos psicológicos/sociales. Esto sugiere que ciertos rasgos no siempre generan una atribución genética, y que algunos estudiantes pueden tener conocimientos más deterministas que otros.

Podemos hipotetizar, según las categorías construidas y presentadas antes, que los estudiantes tienden a pensar que las adaptaciones de comportamiento están más relacionadas con las experiencias, el instinto, el entorno e incluso con la crianza recibida durante su desarrollo como individuo que con los genes. Este resultado concuerda con los hallazgos de diversos estudios (Condit, 2019; Condit et al., 2004; Da Silva Porto et al., 2015; Hammann et al., 2021; Parrott et al., 2003), en los que se señala que los estudiantes tienden a pensar que la genética no interfiere en los rasgos comportamentales, atribuyendo estos rasgos a factores como la educación, la crianza, el entorno social y cultural, la decisión propia o las experiencias.

Cabe aclarar que la interpretación de los resultados presentada debe entenderse en el marco de una limitación del estudio, referente a que la muestra estuvo compuesta exclusivamente por estudiantes participantes de la OLICOCIBI, quienes tienen un interés particular en la biología, lo que podría no representar a la población general de estudiantes de secundaria en Costa Rica. Además, el diseño del cuestionario, aunque validado, dependió de respuestas autoinformadas, lo que puede introducir sesgos en la interpretación de los ítems.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

El objetivo de este estudio fue analizar el grado de acuerdo de los estudiantes participantes de las OLICOCIBI de 2024 en relación con el determinismo genético en rasgos fisiológicos, morfológicos y comportamentales, así como caracterizar las explicaciones que ofrecían estos estudiantes respecto del grado de acuerdo. Encontramos que los estudiantes tienen un alto grado de acuerdo con el determinismo genético en los rasgos fisiológicos y morfológicos, pero que disminuye para los rasgos comportamentales. Cuando se analizaron las explicaciones que ofrecían a este grado de acuerdo, encontramos que los estudiantes utilizan justificaciones que van desde el determinismo genético, pasando por recuperar la interacción genes-ambiente, hasta un determinismo ambiental, en algunos casos negando el rol de la genética en la formación de los rasgos comportamentales.

Con este estudio hemos evidenciado que el determinismo (sea genético o ambiental) podría ser una problemática en la enseñanza de la biología en las escuelas de Costa Rica, ya que los estudiantes muestran conocimientos contradictorios con lo establecido científicamente. Asimismo, podrían no ser conscientes de este modo de pensar, lo que dificulta su capacidad de regularlo (González Galli, 2020). Frente a esta situación, recuperamos los aportes de Ageitos y Puig (2021), quienes señalan la importancia de crear entornos en el aula que permitan evaluar el determinismo de manera crítica. Además, proponen que en el salón de clases se identifique este tipo de pensamiento, y que mediante el uso de evidencia adecuada se demuestre su invalidez, lo que podría contribuir a superar el determinismo. En esta misma línea, y suponiendo el determinismo como un modo de razonar funcional para la vida cotidiana de los sujetos (González Galli et al., 2022; Kahneman, 2020), trabajar didácticamente para eliminarlo parecería no tener sentido. En cambio, sería recomendable que los docentes abordaran el determinismo genético de manera explícita en contenidos de biología, para que el estudiante desarrollara una mayor conciencia sobre este tipo de razonamiento y pudiera regularlo en las diferentes ocasiones en las que se presente (González Galli, 2020). Se espera fomentar una «vigilancia metacognitiva», entendida como un juicio reflexivo que realizaría el estudiante en el que autorregule los obstáculos epistemológicos, en este caso el determinismo, para fortalecer la conciencia y el control metacognitivo de este. Para ello, será fundamental que el docente promueva actividades reflexivas, de argumentación y discusión en clases que contribuyan a regular de manera explícita este modo de pensar determinista entre los estudiantes (González Galli et al., 2022; Pérez et al., 2021).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ageitos, N. & Puig, B. (2021). Análisis del determinismo en una tarea de genética sobre una enfermedad animal. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 33-50. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3315>
- Ayuso, G. & Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 133-157. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3983>
- Bailin, S. (2002). Critical thinking and science education. *Science & education*, 11, 361-375. <https://doi.org/10.1023/A:1016042608621>
- Ballena, M., Ortiz, V., & Bernal, C. (2021). Obstáculos epistemológicos para el aprendizaje de la evolución por selección natural y epigenética, en profesores en formación de biología. *Tecné, Episteme y Didaxis* (número extraordinario). <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/15479>
- Barragüés Fuentes, J. & Guisasola Aranzabal, J. (2006). La introducción de los conceptos relativos al azar y la probabilidad en libros de textos universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 241-256. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3803>

- Blanco-López, A., España-Ramos, E., & Franco-Mariscal, A. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 107-115. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004>
- Braun, V. & Clarke, V. (2013). *Successful qualitative research: A practical guide for beginners*. Sage.
- Bugallo-Rodríguez, A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 379-385. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4258>
- Byrd, W. & Ray, V. (2015). Ultimate attribution in the genetic era: white support for genetic explanations of racial difference and policies. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 661, 212-235. <https://doi.org/10.1177/0002716215587887>
- Carranza, J. (1994). *Etología: Introducción a la ciencia del comportamiento*. Universidad de Extremadura.
- Castéra, J. & Clément, P. (2014). Teachers' conceptions about the genetic determinism of human behaviour: A survey in 23 countries. *Science & Education*, 23, 417-443. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9494-0>
- Condit, C., Parrott, R., Harris, T., Lynch, J., & Dubriwny, T. (2004). The role of «genetics» in popular understandings of race in the United States. *Public Understanding of Science*, 13(3), 249-272. <https://doi.org/10.1177/0963662504045573>
- Condit, C. (2019). Laypeople Are Strategic Essentialists, Not Genetic Essentialists. *Hastings Center Report*, 49(3), 27-37. <https://doi.org/10.1002/hast.1014>
- Creswell, J. (2012). *Educational research. Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson.
- Da Silva Porto, F., Paiva, P., Waizbort, R., & da Luz, M. (2015). Brazilian undergraduate students' conceptions on the origins of human social behavior: implications for teaching evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 8(16), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12052-015-0044-5>
- Dar-Nimrod, I. & Heine, S. (2011). Genetic essentialism: on the deceptive determinism of DNA. *Psychological Bulletin*, 137(5), 800-818. <https://doi.org/10.1037/a0021860>
- Diéguez Lucena, A. (2021). El retorno del determinismo genético. En R. López-Orellana y J. Suárez-Ruiz (Eds), *Filosofía posdarwiniana. Enfoques actuales sobre la intersección entre análisis epistemológico y naturalismo filosófico* (pp. 160-186). College Publications.
- Esquivel, V. y Morera, J. (2022). *Habilidades blandas y científicas que se potencian en los estudiantes que participan de los procesos de entrenamiento en la Olimpiada Costarricense de Ciencias Biológicas (2015-2021)*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica. <http://hdl.handle.net/11056/23077>
- Flick, U. (2007). *Introducción a La investigación cualitativa*. Morata.
- Franck, J. & Vanney, C. (2018). *¿Determinismo o indeterminismo? Grandes preguntas de las ciencias a la filosofía*. UFV.
- Gericke, N. & El-Hani, C. (2018). *Genetics*. En Kampourakis, K. y Reiss, M. (Eds.), *Teaching Biology in Schools. Global Research, Issues, and Trends* (pp. 110-123). Routledge.
- Gericke, N. & Hagberg, M. (2007). Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science & Education*, 16(7), 849-881. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9064-4>
- Gericke, N., El-Hani, C., Sbeglia, G., Nehm, R., & Evangelista, N. (2021). Is Belief in Genetic Determinism Similar Across Countries and Traits?. En M. Haskel-Ittah & A. Yarden (Eds), *Genetics Education. Contributions from Biology Education Research* (pp. 107-125). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_7
- González Galli, L. (2020). Enseñanza de la biología y pensamiento crítico: la importancia de la metacognición. *Revista De Educación En Biología*, 22(2), 4-24. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v22.n2.28528>

- González Galli, L. (2021). Compórtate. La biología que hay detrás de nuestros mejores y peores comportamientos. (2021). *Revista Educación en Ciencias Biológicas*, 6(2), eRECB.6.2.2. <https://doi.org/10.36861/recb.6.2.2>
- González Galli, L. (2023). Analogías y enseñanza de la genética y la biología evolucionista. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 63-78. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5615>
- González Galli, L. & Meinardi, E. (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21(1), 101-122. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- González Galli, L., Meinardi, E., & Pérez, G. (2018). Una tipología de casos para enseñar el modelo de evolución por selección natural. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 34, 77-90. <https://doi.org/10.7203/dces.34.12056>
- González Galli, L., Pérez, G., Cupo, B., & Alegre, C. (2022). Revisión y revalorización del concepto de obstáculo epistemológico para la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Ciência & Educação (Bauru)*, 28, e22040. <https://doi.org/10.1590/1516-731320220040>
- Hammann, M., Heemann, T., & Zang, J. (2021). Why Does Multiple and Interactive Causation Render Comprehension of Genetics Phenomena Difficult and What Could Genetics Educators Do About It? En M. Haskel-Ittah & A. Yarden (Eds), *Genetics Education. Contributions from Biology Education Research* (pp. 127-144). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_8
- Hartelt, T., Martens, H., & Minkley, N. (2022). Teachers' ability to diagnose and deal with alternative student conceptions of evolution. *Science Education*, 106(3), 706-738. <https://doi.org/10.1002/sce.21705>
- Herrera, F., Pereira-Chávez, J., & Muñoz, N. (2017). Caracterización del profesorado de biología participante en la VII Olimpiada Costarricense de Ciencias Biológicas: Una mirada de sus estudiantes. *UNICIENCIA*, 31(2), 83-98. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/ru.31-2.6>
- Jiménez-Aleixandre, M. & Puig, B. (2022). Educating Critical Citizens to Face Post-truth: The Time Is Now. En B. Puig y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds), *Critical Thinking in Biology and Environmental Education: Facing Challenges in a Post-Truth World* (pp. 3-19). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_1
- Jobling, M., Hollox, E., Hurles, M., Kivisild, T., & Tyler-Smith, C. (2014). *Human evolutionary genetics (2nd edition)*. Garland Science.
- Kahneman, D. (2020). *Pensar rápido, pensar despacio* (13.ª ed.). Debate.
- Klug, W., Cummings, M., Spencer, C., & Palladino, M. (2013). *Conceptos de genética* (10.ª ed.). Pearson Education.
- Lanie, A., Jayaratne, T., Sheldon, J., Kardia, S., Anderson, E., Feldbaum, M., & Petty, E. (2004). Exploring the public understanding of basic genetic concepts. *Journal of genetic counseling*, 13(4), 305-320. <https://doi.org/10.1023/b:jogc.0000035524.66944.6d>
- Miranda, B. & Ortiz, B. (2020). Los paradigmas de la investigación: un acercamiento teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. *RIDE revista iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 11(21). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.717>
- Palacios, A., Cely, C., & Caicedo-Rolón, A. (2023). *Conceptos y enfoques de metodología de la investigación*. (1.ª ed.). Creser S.A.S.
- Parrott, R., Silk, K., & Condit, C. (2003). Diversity in lay perception of the sources of human traits: Genes, environments, and personal behaviors. *Social Science & Medicine*, 56, 1099-1109. [https://doi.org/10.1016/s0277-9536\(02\)00106-5](https://doi.org/10.1016/s0277-9536(02)00106-5)
- Pérez, G. & González Galli, L. (2020). La regulación metacognitiva sobre los modos de pensar en el aula de biología. *Revista del IICE*, (47), 135-150. <https://doi.org/10.34096/iice.n47.9643>

- Pérez, G. & González Galli, L. (2024). Metacognitive reflections on essentialism during the learning of the relationship between biology and the human race. *Metacognition Learning*, 19, 1035-1064. <https://doi.org/10.1007/s11409-024-09394-x>
- Pérez, G., Gómez Galindo, A., & González Galli, L. (2021). La regulación de los obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución. *Enseñanza de Las Ciencias*, 39(1), 27-44. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2968>
- Pinker, S. (2003). *La tabla rasa: la negación moderna de la naturaleza humana*. Paidós.
- Puig, B. & Jiménez-Aleixandre, M. (2015). El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias. *Revista eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 12(1), 55-65. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.05
- Quevedo, R. (2011). La prueba de ji-cuadrado. *Estadística aplicada a la investigación en salud*, 11(21), e5266-e5266. <http://dx.doi.org/10.5867/medwave.2011.12.5266>
- Rubio, A. & Ayuso, F. (2023). ¿Epigenética en enseñanza secundaria? Elaboración y puesta en práctica de una propuesta de enseñanza aprendizaje sobre epigenética con estudiantes de 4.º de ESO. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 430-449.
- Stern, F. (2020). *Secondary School Students' Teleology and Essentialism Conceptions in the Context of Genetics*. [Tesis doctoral]. University of Geneva. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:144113>
- Stern, F., Kampaourakis, K., & Müller, A. (2023). «Genes for a role», «genes as essences»: Secondary students' explicit and implicit intuitions about genetic essentialism and teleology. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(2), 237-267. <https://doi.org/10.1002/tea.21796>
- Tamayo, O., Zona, R., & Loaiza, Z. (2015). El pensamiento crítico en la educación. Algunas categorías centrales en su estudio. *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 11(2), 111-133.

Analysis of Genetic Determinism among Students in Costa Rica

Lucía Elizabeth Rivera-Fallas
Escuela de ciencias biológicas, Universidad Nacional,
Costa Rica
lucia.riveraf26@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3763-0202>

José Miguel Pereira-Chaves
Escuela de ciencias biológicas, Universidad Nacional,
Costa Rica
jose.pereira.chaves@una.cr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6056-3364>

Gastón Mariano Pérez
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
(CONICET), Instituto de investigaciones CeFIEC, Facultad
de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos
Aires, Argentina.
gastonperez@ccpems.exactas.uba.ar
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9751-2042>

Andrew José Lindwedel Cruz
Investigador independiente, Universidad Nacional,
Costa Rica
andrewjlc13@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4496-3958>

Critical thinking is essential in science education, yet its development in students is hindered by reasoning patterns such as genetic determinism, which is considered an epistemological obstacle. This type of reasoning—functional, transversal, and in conflict with scientific models—leads individuals to assume that genes invariably determine traits, with little or no influence from the environment. Such assumptions pose serious challenges to understanding current scientific models. In the Biology subject at school, genetic determinism is present both in textbooks and in the media, reinforcing misconceptions among students. This mode of reasoning limits students' understanding of the complex interaction between genes and the environment and may support discriminatory narratives. In response, there is an urgent need to promote educational approaches that explicitly challenge determinism and foster critical thinking. This study analyzed the level of agreement with genetic determinism among 648 students participating in the 2024 Costa Rican Biology Olympiad, focusing on physiological, morphological, and behavioral traits, as well as the explanations students provided for their positions. Using a mixed-methods design, we conducted frequency analyses and one-way chi-square tests, along with thematic analysis of students' explanations. We found high levels of agreement with genetic determinism in relation to physiological and morphological traits, with students generally attributing trait development primarily to genetic factors. In these cases, their understanding diverged from current scientific consensus, failing to recognize that genetic influences are probabilistic and interact with environmental factors. However, agreement with genetic determinism decreased noticeably when students considered behavioral traits. The explanations provided ranged from strictly genetic determinism to more integrative views that acknowledged gene-environment interactions, and in some cases, even environmental determinism that dismissed the role of genetics altogether. These findings suggest that determinism—whether genetic or environmental—may pose a significant challenge in biology education in Costa Rican schools, as students often hold scientifically inconsistent beliefs and may be unaware of the implicit reasoning behind them, making metacognitive regulation difficult. Given that determinism can serve as a functional reasoning strategy in everyday life, trying to eliminate it entirely through instruction may be ineffective. Instead, we recommend that teachers address genetic determinism explicitly when teaching biology content, helping students develop awareness of this mode of thinking and fostering their ability to regulate it when it arises. This study advocates for the promotion of «metacognitive vigilance»—the reflective judgment students engage in to identify and regulate epistemological obstacles such as determinism—thereby enhancing both their awareness and metacognitive control.

