

**LA METÁFORA DE COMUNICACIÓN EN LA COMPRESIÓN DEL CONCEPTO DE INFORMACIÓN GENÉTICA: UNA INVESTIGACIÓN DE FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE CIENCIAS Y BIOLOGÍA**

***A METÁFORA DA COMUNICAÇÃO NA COMPREENSÃO DO CONCEITO DE INFORMAÇÃO GENÉTICA: UMA INVESTIGAÇÃO DA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA***

***THE METAPHOR OF COMMUNICATION IN GENETIC INFORMATION CONCEPTUAL COMPREHENSION: AN INVESTIGATION IN INITIAL SCIENCE AND BIOLOGY TEACHER EDUCATION***



Matheus GANIKO-DUTRA<sup>1</sup>  
e-mail: matheus.ganiko@unesp.br



Beatriz CESCHIM<sup>2</sup>  
e-mail: beatriz.ceschim@unesp.br



Ana Maria de Andrade CALDEIRA<sup>3</sup>  
e-mail: ana.caldeira@unesp.br

**Cómo hacer referencia a este artículo:**

GANIKO-DUTRA, M.; CESCHIM, B.; CALDEIRA, A. M. A. La metáfora de la comunicación en la comprensión del concepto de información genética: Una investigación sobre la formación inicial de profesores de Ciencias y Biología. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 18, n. 00, e023096, 2023. e-ISSN: 1982-5587. DOI: <https://doi.org/10.21723/riaee.v18i00.18375>



- | **Presentado el:** 14/06/2023
- | **Revisiones requeridas en:** 22/08/2023
- | **Aprobado el:** 18/09/2023
- | **Publicado en:** 17/10/2023

**Editor:** Prof. Dr. José Luís Bizelli

**Editor Adjunto Ejecutivo:** Prof. Dr. José Anderson Santos Cruz

<sup>1</sup> Universidad Estatal Paulista (UNESP), Bauru – SP – Brasil. Doctorado por el Programa de Posgrado en Educación para la Ciencia.

<sup>2</sup> Universidad Estatal de Santa Cruz (UESC), Ilhéus – BA – Brasil. Profesora del Área de Docencia de Biología del Departamento de Ciencias Biológicas. Doctorado en Educación para la Ciencia (UNESP).

<sup>3</sup> Universidad Estatal Paulista (UNESP), Bauru – SP – Brasil. Docente del Programa de Posgrado en Educación para la Ciencia. Doctorado en Educación (UNESP). Beca de Productividad en Investigación del CNPq - Nivel 1C.

**RESUMEN:** El concepto de información genética es importante para el discernimiento de problemas socioambientales, como los organismos genéticamente modificados y la terapia génica. Habiendo en cuenta la posibilidad de que este concepto provoque deformes conceptuales por metáfora en el aprendizaje, nos proponemos describir cuáles son las concepciones de la *información genética* de los profesores de Biología en formación y cómo se han modificado sus conocimientos a lo largo de las reflexiones científicas y filosóficas. Los datos se coleccionaron a través de cuestionarios, entrevistas grupales y representaciones individuales. Identificamos que los docentes en formación entendían la información genética en términos metafóricos, avanzaban hacia un rechazo total de la metáfora y lograban un punto de equilibrio al final, exhibiendo comprensiones compatibles con el concepto científico propuesto, a pesar de exhibir una combinación de perfiles conceptuales. Propusimos criterios lingüísticos para el uso de la metáfora en la enseñanza e identificar el uso denotativo del término. Ofrecemos un marco de aserciones para el diagnóstico de las concepciones e indicamos implicaciones didácticas.

**PALABRAS CLAVE:** Enseñanza de Biología. Enseñanza de Genética. Información. Metáfora. Lenguaje.

**RESUMO:** O conceito de informação genética é de relevância para a compreensão de problemas socioambientais, como organismos geneticamente modificados e terapia gênica. Levando em consideração a possibilidade de esse conceito causar distorções conceituais por metáfora na aprendizagem, objetivamos descrever quais são as concepções de informação genética de professores de Biologia em formação e como suas compreensões foram modificadas ao longo de reflexões científicas e filosóficas. Coletamos dados por meio de questionários, entrevistas em grupo e representações individuais. Identificamos que professores em formação compreendiam a informação genética em termos metafóricos, avançaram para uma rejeição completa da metáfora e atingiram um ponto de equilíbrio no encerramento, exibindo compreensões compatíveis com o conceito científico proposto, apesar de exibirem uma combinação de perfis conceituais. Propusemos critérios linguísticos para utilizar a metáfora no ensino e para identificar o uso denotativo do termo. Oferecemos um quadro de assertivas para diagnóstico de concepções e indicamos implicações didáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Biologia. Ensino de Genética. Informação. Metáfora. Linguagem.

**ABSTRACT:** In the present context of technological sophistication, Science Education might train citizens to be able to participate in individual and collective decision making. The concept of genetic information is relevant for the comprehension of socioenvironmental problems, such as genetic modified organisms and genic therapy, for example. Considering the possibility of this concept to provoke misconceptions by metaphor in learning, we aimed describing which are the conceptions of genetic information from Biology teachers in training and how these conceptions changed through scientific and philosophical conversation sessions. We collected data using questionnaires, group interviews and individual representations. We identified that teachers in training comprehended genetic information in metaphorical terms, moved forward to a complete rejection of the metaphor and reached a balancing point in the end, exhibiting comprehensions compatible with the proposed scientific concept, although some showed a combination of different conceptual profiles.

**KEYWORDS:** Biology Teaching. Science Teaching. Information. Metaphor. Language.

## Introducción

La Educación relacionada con la Ciencia, la Tecnología, la Sociedad y el Medio Ambiente (CTSA) tiene como objetivo mejorar la alfabetización científica. En este sentido, orienta los contenidos y procedimientos curriculares para posibilitar el aprendizaje de temas que contribuyan a una mejor toma de decisiones frente a la naturaleza y los problemas socioambientales (RICARDO, 2007; SANTOS; MORTIMER, 2000; SASSERON; CARVALHO, 2011). En este enfoque, los problemas socioambientales son los contextos de aprendizaje, mientras que los conceptos científicos y tecnológicos constituyen el conocimiento de referencia (SANTOS; MORTIMER, 2000).

Uno de los temas más importantes en Biología es la Enseñanza de la Genética, área que contribuye a posicionar a los estudiantes en temas como: organismos genéticamente modificados, vacunas de ADN y ARN, terapia génica, edición génica y la propia teoría evolutiva. Entre los conceptos necesarios para la interpretación de estos escenarios de toma de decisiones se encuentra el concepto de *información genética*. A pesar de la relevancia atestiguada por la amplia presencia del término en los materiales didácticos, existe una falta de consenso sobre su definición en el debate filosófico y científico (GANIKO-DUTRA, 2021). Al mismo tiempo, indicamos la posibilidad de que este término provoque distorsiones conceptuales debido a que posiblemente tenga carácter connotativo. Para evitar distorsiones conceptuales y, por lo tanto, garantizar que los estudiantes tengan acceso a términos más precisos, proponemos una investigación de las concepciones de los profesores de Biología sobre el término *información genética*.

Así, considerando que el concepto de *información* es un conocimiento de referencia para la comprensión y el enfrentamiento de las problemáticas socioambientales antes mencionadas, el objetivo inicial de este trabajo es diagnosticar las concepciones previas de la *información genética* difundido por estudiantes de pregrado en Ciencias Biológicas. Un segundo enfoque mostró cómo la comprensión de estos estudiantes sobre el tema se hizo más precisa a lo largo de las actividades propuestas, con el fin de clarificar el concepto desde el punto de vista científico y filosófico. Finalmente, proponemos una reflexión sobre la relación pensamiento-lenguaje de carácter metafórico y las indeseables distorsiones conceptuales que han aportado.

## El concepto de *información genética*

La palabra *información* es uno de los principios fundamentales de la Biología, siendo un concepto estructurante importante para esta ciencia. Según Scheiner (2010), se puede resumir en la afirmación: "la vida requiere de un sistema para almacenar, utilizar y transmitir información". En este contexto, la expresión más evidente de la presencia de la palabra *información* en los fenómenos biológicos se da en los campos de la Genética y la Biología Molecular.

A pesar de su evidente importancia, este concepto ha sido ampliamente discutido desde diversos puntos de vista epistemológicos, pero sin aparente consenso. Sin el objetivo de profundizar en la discusión en este punto, señalamos parte de la diversidad de enfoques que existen para interpretar el concepto: (I) la información causal (GODFREY-SMITH, 2008; SHANNON, 1948); (II) información semántica (GODFREY-SMITH, 2008; MAYNARD SMITH, 2000; SHEA, 2007; 2011; STEGMANN, 2004); (III) información cosificada (WILLIAMS, 1992); (IV) información transmisiva (BERGSTROM; ROSVALL, 2011; GODFREY-SMITH, 2011; MACLAURIN, 2011; STEGMANN, 2014); (V) información evolutiva (KOONIN, 2016); (VI) información ficticia (LEVY, 2011); y (VII) juegos de señalización (PLANER, 2014).

En el campo de la Genética, hemos identificado al menos las siguientes cuatro acepciones del término *información*, que caracteriza a una polisemia (Ganiko-Dutra, 2021). Estas son las referencias: (1) a datos moleculares, como la estructura y las mediciones cuantitativas; (2) ácidos nucleicos; (3) señales del medio ambiente que interactúan con ácidos nucleicos; y (4) la práctica científica. Como el término también puede derivar en una posible *metáfora* (GANIKO-DUTRA, 2021), se utilizará en el sentido: (a) de un proceso que establece una relación de correspondencia entre dos objetos; y b) la materia denunciada.

La mayoría de los autores conciben el término *información genética* a partir de una relación pensamiento-lenguaje denotativo, pero algunos, como Levy (2011) y Maturana y Varela (2001), lo consideran como una metáfora. Levy (2011) incluso propone su eliminación en Biología debido a la falta de plausibilidad semántica para designar funciones evolutivas, siendo válida solo para explicaciones próximas. A pesar de postular la dimensión evolutiva de la información, cuando se cuestionan sus efectos sobre los organismos, las explicaciones suelen ser fisiológicas (*ídem*). Su crítica también llama la atención sobre el carácter intencional del término, e incluso sobre el tono de las explicaciones en las que aparece, a menudo acompañadas de comillas.

Maturana y Varela (2001, p. 218) afirman que no existe tal cosa como "información transmitida" en Biología, indicando que esta interpretación se concibe a partir de la metáfora de que la comunicación es un tubo: "la comunicación es algo que se produce en un punto, se lleva a través de un conducto (o tubo) y se entrega en otro extremo, el receptor" (¡sic!). De acuerdo con Levy (2011), las características de las descripciones informacionales son: direccionalidad, ya que existe un emisor que envía un factor intermediario a un receptor; la correspondencia entre las distintas partes de dos sistemas, y la agencia de los emisores y receptores en detrimento de la pasividad de la señal (información).

A pesar de la importancia de las metáforas para comprender los fenómenos moleculares que ocurren en las células, se argumenta que su uso requiere cuidado para no caer en visiones metafísicas que cosifican la información, así como en visiones genecentristas (LEVY, 2011). Además, Maturana y Varela (2001) rechazan el uso de esta metáfora, que indicaría que la interacción estaría determinada por el emisor y no por la dinámica estructural del sistema de acoplamiento. En la metáfora, el receptor sería concebido como una entidad pasiva que solo recibe la información enviada por el emisor. Sin embargo, los autores argumentan que los efectos sobre el receptor están relacionados con sus características estructurales, es decir, con cómo la información percibida reverbera en el flujo de materia y energía autopoietica que la constituye.

### **Relación pensamiento-lenguaje y distorsiones conceptuales en la Enseñanza de la Biología**

En el ámbito del lenguaje, que también estructura nuestra visión del mundo (EVANS; VERDE, 2006; VYGOTSKY, 2000), la metáfora ocurre cuando entendemos un concepto en términos de otro (LAKOFF; JOHNSON, 2003). Podemos decir que hay un dominio X, conocido y ya conocido, y un dominio Y, por conocer. Dado que X e Y tienen aspectos compatibles, podemos entender Y en términos de X. En este sentido, podemos decir que la metáfora evidencia aspectos compatibles entre los dominios, pero esconde aspectos incompatibles (LAKOFF; JOHNSON, 2003).

Las metáforas se originan en nuestra experiencia, como la noción de espacio y las acciones físicas. Nuestra cultura actual admite, por ejemplo, que el tiempo está organizado según una dimensión espacial, con el futuro orientado "hacia adelante" y el pasado "hacia atrás". Más allá de estas cuestiones específicas, las metáforas estructuran nuestra percepción de la realidad (LAKOFF; JOHNSON, 2003).

Con respecto a la metáfora en el contexto de la Enseñanza de la Biología, Wandersee, Fisher y Moody (2000) presentaron un esquema sobre la aprehensión de conceptos en Biología. Entre las fuentes de información se encuentran: la percepción del mundo vivo; sociedad y cultura; y el aprendizaje formal e informal, que también incluye metáforas. Según ellos, los medios con los que cuentan los estudiantes para aprender son: la adquisición de conocimientos; organización y reflexión; y el uso del conocimiento. Estos pasos se retroalimentan, y la comprensión resultante puede influir en la forma en que uno percibe la realidad.

Nuestro grupo de investigación ha estado investigando cómo el uso de términos connotativos puede dar lugar a distorsiones conceptuales en la Enseñanza de la Biología. Aunque las analogías y metáforas constituyen un recurso didáctico relativamente común para comprender las características más fundamentales de la naturaleza, también traen consigo cierto grado de deformación conceptual asociada. Por lo tanto, la transferencia de aspectos incompatibles entre dos dominios asociados por una metáfora configura la distorsión conceptual por metáfora (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020).

En este sentido, cuando reflexionamos sobre el uso de la metáfora en la enseñanza (GLYNN, 2007), es posible explicarlo a través de otra metáfora. Su uso en la enseñanza es como un andamiaje. Del mismo modo que este instrumento se utiliza para construir un edificio y se retira después de la obra, la metáfora puede utilizarse para la enseñanza, pero debe eliminarse tan pronto como se diagnostique el aprendizaje, para evitar la transferencia de aspectos incompatibles de un dominio a otro. Un modelo discursivo para usar la metáfora en el aula podría ser: "así como X [describe el aspecto compatible del concepto familiar], Y también [refuerza el aspecto compatible del concepto que se va a enseñar]. Sin embargo, aunque X [describe un aspecto incompatible del concepto familiar que no puede transferirse al concepto que se va a enseñar], no ocurre lo mismo con Y".

## **Metodología**

Esta investigación cualitativa (PATTON, 2002) se llevó a cabo dentro del paradigma de la visión lógica de la investigación interpretativa defendida por Taylor (2014).

Los datos fueron recolectados por medio de cuestionarios y guiones de entrevistas aplicados a estudiantes de graduación del curso de Ciencias Biológicas de una universidad estadual del estado de São Paulo, tanto a tiempo completo como nocturno. En este sentido, se realizaron quince encuentros entre junio de 2022 y enero de 2023, con una muestra intencional,

con el fin de diagnosticar cómo evolucionó el abordaje de los estudiantes de pregrado en temas relacionados con la Genética Molecular. La investigación se llevó a cabo de acuerdo con las directrices éticas del Consejo Nacional de Salud, con la aprobación del Comité de Ética en Investigación.

A lo largo de los encuentros, se realizaron entrevistas grupales y se registraron de acuerdo con los movimientos discursivos propuestos por Windschitl, Thompson y Braaten (2018). También se aplicó un cuestionario inicial y un cuestionario final cuyas respuestas se entregaron por escrito.

De acuerdo con los objetivos, las reuniones se dividieron en tres momentos: (1) la etapa inicial (tres reuniones), cuando problematizamos la cuestión epistemológica y entregamos el cuestionario inicial, (2) el desarrollo (nueve reuniones), cuando se propuso la lectura de Buckland (1991)<sup>4</sup> y se recogieron las respuestas al cuestionario inicial y (3) el cuestionario de cierre (tres reuniones), momento en el que los participantes también respondieron el cuestionario final y explicaron sus propias representaciones sobre el tema.

El cuestionario inicial se dividió en dos secciones para que las preguntas de la segunda sección no influyeran en las respuestas de la primera. La primera sección presentaba el siguiente comando:

Los ácidos nucleicos (ADN y ARN) son moléculas esenciales para el mantenimiento de la homeostasis del organismo, para el mantenimiento de la especie a lo largo del tiempo, y están implicados en varios procesos moleculares de la célula. Explicar la función y el funcionamiento de los ácidos nucleicos en los organismos vivos.

Como era de esperar, a partir de nuestras hipótesis iniciales, que habría una profusión en el uso de la palabra *información* en las respuestas (como "transmisión de información genética"), el tema despertó un desarrollo en la segunda sección. Desde esta perspectiva, la palabra *información* puede entenderse como una unidad de comunicación. Cuando informamos, estamos informando a alguien sobre algo. Por lo tanto, en la segunda sección del formulario se presentaban las siguientes preguntas:

- ¿Quién se estaría comunicando, es decir, quién sería el emisor?
- ¿A quién se estaría comunicando, es decir, quién sería el receptor del mensaje? y
- Lo que se comunicaría, es decir, cuál es la naturaleza de esa información; ¿De qué se trataría?

<sup>4</sup> Esta lectura contribuyó a un mapeo inicial de la discusión sobre la *información* presente en el área de Ciencias de la Información y Ciencias Naturales.

Entre las actividades realizadas en el conjunto de encuentros que denominamos *desarrollo*, podemos mencionar: discusiones epistemológicas, lecturas de artículos<sup>5</sup>, elaboración de representaciones individuales, análisis de las respuestas recogidas en el cuestionario inicial y análisis de la transcripción de la segunda reunión.

En la etapa de *cierre*, se propuso una definición previa de la palabra *información* para la reflexión sobre la relevancia de su uso en Biología (GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2022). Esta propuesta no fue presentada como un consenso científico a los estudiantes, sino más bien como un carácter de "ciencia viva", es decir, como un tema que aún está en debate en la comunidad científica. También se propuso el estudio de un caso de mimesis observada en la planta *Boquila trifoliata*<sup>6</sup> y, finalmente, se aplicó el cuestionario final, cuyos resultados se interpretaron según la escala Likert. Entre las afirmaciones presentes en este instrumento, seleccionamos aquellas relacionadas con la *metáfora* (cuadro 1).

**Cuadro 1** – Afirmaciones para la recogida de datos en el cuestionario final. Las respuestas se estructuraron según la escala Likert, con cuatro opciones basadas en la justificación en caso de desacuerdo (totalmente de acuerdo, parcialmente de acuerdo, parcialmente en desacuerdo y totalmente en desacuerdo)

Declaración	¿Habrían entendido los estudiantes que...	Posible distorsión conceptual
A) La información genética puede transmitirse de un organismo a su descendencia (incorrecto).	¿Acaso las reacciones bioquímicas de los seres vivos no envían información? ¿Los seres vivos sintetizan moléculas, emiten patrones de energía y ondas que eventualmente son percibidas por otros organismos?	Desde un punto de vista evolutivo, habría un emisor de información genética.
B) No existe un emisor para la información genética que se traduce en la síntesis (correcta) de proteínas.	¿Son conscientes de que este proceso no está dirigido ni es intencionado, sino que se establece sólo por contingencias evolutivas?	Desde un punto de vista fisiológico, habría un emisor de información genética.
C) Los organismos reciben información genética de la generación parental (incorrecta).	¿Son los propios seres vivos o sus células los que interactúan con la materia y la energía circundantes, estableciendo correspondencias internas o externas, de naturaleza material o energética? Ocasionalmente, tales elementos han sido producidos por otros organismos, o son una continuación de ellos.	Desde un punto de vista evolutivo, existiría un receptor de información genética.
D) La célula es la que recibe la información genética (incorrecta).	¿Es la coincidencia de codones en los aminoácidos una emergencia metabólica de la célula?	Desde un punto de vista fisiológico, existiría un receptor de información genética.

<sup>5</sup> Barbieri (2019); Buckland (1991); y Capurro y Hjørland (2007).

<sup>6</sup> Esta planta es capaz de imitar las hojas de otras plantas cercanas a donde crece. El propósito de la discusión sería interpretar la mimesis desde el concepto de *información*.

E) La información genética no es más que las propias moléculas de ácidos nucleicos (incorrecto).	¿Las secuencias de ácidos nucleicos no representan nada, sino que son solo moléculas? Los sofisticados patrones y procesos en los que están involucrados son productos complejos que resultaron de la evolución biológica.	Las moléculas tendrían un significado.
F) Un ave puede emitir un sonido con la intención de advertir a la bandada de que hay un depredador en la zona (incorrecto).	¿Es la comunicación entre los seres vivos una emergencia evolutiva involuntaria que surge de interacciones contingentes?	Habría intencionalidad en los procesos de comunicación entre organismos vivos.
G) El gametofito femenino de los briófitos envía una señal química para atraer el anterozoide (incorrecto).		
H) Una molécula de toxina puede ser interpretada por una célula como un ambiente inhóspito (incorrecto).	¿Los patrones de respuesta a la información del entorno se producen debido a interacciones químicas, físicas o biológicas no intencionales y desprovistas de cognición?	Habría una interpretación cognitiva en los fenómenos biológicos.

Fuente: Elaboración de los autores

Los datos fueron seleccionados a partir de la transcripción de los fragmentos más representativos de las reuniones, cuando los participantes discutieron explícitamente el concepto de *información*. En esta etapa, los datos fueron anonimizados.

El análisis se realizó mediante un análisis temático con inferencias realizadas a partir de la síntesis creativa de los autores (PATTON, 2002). En este sentido, identificamos tres categorías de significados por parte de los estudiantes: *i*) distorsiones conceptuales de la naturaleza de la relación pensamiento-lenguaje (CESCHIM; GANIKO-DUTRA; CALDEIRA, 2020); *ii*) distorsiones conceptuales de carácter epistemológico (*ibíd.*); y *iii*) comprensión compatible con el concepto científico. En este artículo, analizaremos la categoría *i*, que se refiere a la *metáfora*. Se utilizaron indicadores para delimitar las unidades de significado y categorizar las concepciones. Los indicadores fueron *emisor*, *receptor*, *enviar*, *recibir*, *transmitir*, *pasar* e *interpretar*.

## Resultados y discusión

Describiremos las concepciones de los estudiantes (E), identificadas en el análisis temático para la categoría *metáfora*, en cada uno de los tres momentos: etapa inicial, desarrollo y cierre.

Para responder a la primera pregunta del cuestionario inicial, cinco de los seis encuestados utilizaron la palabra *información*, y todos ellos utilizaron palabras indicativas de distorsión conceptual. El estudiante E2 respondió lo siguiente:

- La función de los ácidos nucleicos está relacionada con el almacenamiento y transferencia de información de los organismos, son el código maestro ("la receta del pastel") de cada individuo.

Aquí podemos identificar la palabra *transferencia* como un indicador de distorsión conceptual por metáfora. Sin embargo, los mismos estudiantes que exhibieron indicadores de distorsión proporcionaron explicaciones compatibles con el concepto científico:

Su funcionamiento consiste en promover, a través de su información, la síntesis de proteínas que actúan en el mantenimiento de la vida. (E2)

Por lo demás, todos los estudiantes indicaron emisores y receptores de información genética, lo que en sí mismo es un indicador de distorsión conceptual por metáfora. El emisor se identificó como el organismo (E1), el material genético (E2 y E5), donde sea que se encuentre la información (E3), la célula madre (E4) y el núcleo celular (E7). El receptor se identificó como el propio organismo (E1, E2), el entorno en el que influyó la información genética (E3), las células hijas (E4), las células (E5) y el ARN (E7). Levy (2011) considera la metáfora de la información genética como un proceso de comunicación flexible, que puede explicar las notas de diferentes emisores y receptores, de acuerdo con diferentes contextos y puntos de vista.

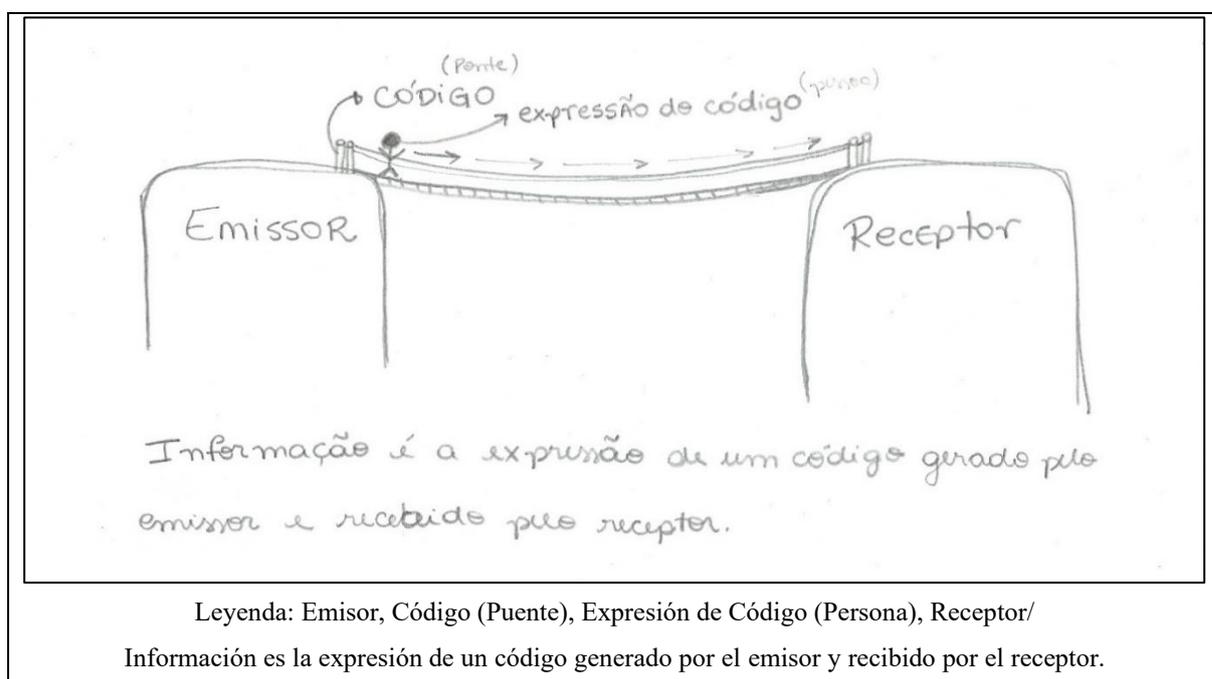
A lo largo de las discusiones de las reuniones iniciales, los estudiantes exhibieron discursos estructurados basados en metáforas, como en las siguientes afirmaciones.

- Es solo que la información, en mi opinión, depende de quién la emite y quién la recibe. (E2);
- Para hacer una analogía con la propagación del sonido, tiene que haber un medio para esta propagación, por lo que la información no sería el medio, sería el sonido. Sería lo que se propaga. (E1); y
- Quiero pensar en la información de una célula tratando de enviar algo a otra. Tiene un objetivo y entonces el receptor, en su subjetividad, lo recibirá de diferentes maneras. (E2).

En esta última, la palabra término *objetivo* hace explícita una connotación de intencionalidad.

En las representaciones individuales, E2 representó la información genética como un factor intermediario entre emisor y receptor (ilustración).

**Figura 1** – Representación del concepto de información genética producida por el estudiante E2



Fuente: Elaboración propia con E2. Colección de autores

En determinados momentos, fue posible identificar respuestas cuyos conceptos oscilaban entre connotación y denotación, como las que se transcriben a continuación.

- Está el hecho de que puede ser un objeto, un acontecimiento; tiene la información que es el medio; Y ahí está el asimilando eso, que es el receptor. Por lo tanto, el hecho o el objeto no es lo mismo que el proceso de transmitirlo. (E1)
- Si no tiene una interacción con otro organismo, no es información, es solo información. (E4)

En este diálogo, es posible observar la sustitución de la palabra *emisor* por *objeto*, lo que indica una posible transición de la metáfora a la denotación.

A lo largo del desarrollo, fue posible observar los conflictos lingüísticos de los estudiantes al buscar otras palabras alternativas a la metáfora. Este fue el caso, por ejemplo, del estudiante E6 cuando se le preguntó sobre la definición de *información genética*:

- Determinativo del rasgo transmisible implica que me estoy refiriendo al rasgo, pero me refiero al factor determinante, así que supongo que lo reemplazaría por "determinante transmisible".

También en esta etapa, fue posible observar un aumento en el uso de términos científicos, por ejemplo, en las siguientes afirmaciones:

- Creo que sería la secuencia de bases nitrogenadas combinadas en aminoácidos. (E1);
- Correspondencia. (E6);
- Así que la expresión es la transcripción, del ADN y del ARN. (E6)

Además de optar por términos más precisos, los estudiantes mostraron una tendencia a rechazar la palabra *información*. Cuando se les pidió que describieran la estructura y el funcionamiento de los ácidos nucleicos, la misma tarea solicitada en la primera reunión, ninguno de ellos utilizó el término *información genética* en sus representaciones individuales. Anteriormente, cinco de cada seis participantes habían utilizado esta expresión. E2, por ejemplo, que en la etapa inicial había respondido a partir de una metáfora, presentó la siguiente definición:

El funcionamiento del material genético, contenido en el núcleo, se produce a través de los procesos de transcripción y traducción de los pares de bases que forman la hebra en unidades proteicas, que posteriormente (en conjunto) pueden actuar sobre la fisiología y morfología del organismo en su conjunto.

Consideramos este cambio como un signo del "miedo a la metáfora" descrito por Lakoff y Johnson (2003).

En ocasiones, el rechazo de los términos relacionados con la *información* llevó a los estudiantes a utilizarlo como sinónimo de "material genético", descuidando el significado de *correspondencia*, intrínseco a este principio fundamental de la Biología. En este sentido, se pudo observar afirmaciones como:

- El ADN es información genética. (E1);
- Encontramos información genética como sinónimo de material genético, o cualquier cosa heredable. (E6);
- La idea sería sustituirlos por términos como sinónimo de conjunto de genes, y luego utilizar términos como genotipo, traducción y transcripción. (E3).

Siempre y cuando se utilice adecuadamente en las aulas, consideramos que la metáfora es un recurso importante para la Enseñanza de la Biología, tal y como proponen, entre otros, Ceschim, Ganiko-Dutra y Caldeira (2020) y Glynn (2007). Por lo tanto, no es deseable que los estudiantes adquieran una aversión a la metáfora, sino que, por el contrario, proponemos que, a partir de una profundización epistemológica del conocimiento biológico, sean capaces de desarrollar un conocimiento pedagógico del contenido (SHULMAN, 1986) suficiente para determinar los límites del uso de la metáfora en la enseñanza. Para ello, es importante que sean

capaces de distinguir los términos: *comunicación como tubo*, *información genética* y *material genético*.

En una de las reuniones, el grupo de estudiantes se acercó a un consenso de que el término *información genética* podría reducirse, sin riesgo de perder significado, al *material genético*. Sin embargo, la información genética no puede tomarse como sinónimo de ADN y ARN. La información consiste en la relación triádica entre dos objetos y la correspondencia entre ellos. Una intervención del investigador cuando les preguntó "¿Cuál es la función del ADN?" les hizo reelaborar sus concepciones y llegar a la idea de correspondencia.

Al final, se pudo observar que los estudiantes se volvieron más cuidadosos en el uso de términos informativos, asociados a la idea de correspondencia, como lo indican los siguientes enunciados:

- No dejaba de pensar que la información está directamente relacionada con la correspondencia. (E3);
- Si pones tu mano sobre algo caliente, tienes la correspondencia entre lo caliente y el impulso que genera, y tienes la información que correrá solo en el sistema nervioso, que es la información del estímulo y la acción que tienes que hacer, que en este caso es el arco reflejo. Tengo la impresión de que en este caso tenemos dos datos, porque hay dos correspondencias, ¿no? Tiene la correspondencia entre el objeto que genera el estímulo, y el estímulo y la acción posterior. (E1).

Las evidencias indican que los encuentros permitieron a los estudiantes pasar por las tres etapas de la comprensión conceptual de la Biología: adquisición de conocimientos (etapa inicial y experiencias de aprendizaje externas al contexto de esta investigación, vividas en el curso), organización y reflexión (debates mediados por el investigador y metacognición) y aplicación de conocimientos (interpretación de fenómenos y concepciones previas) (WANDERSEE; FISHER; MOODY, 2000).

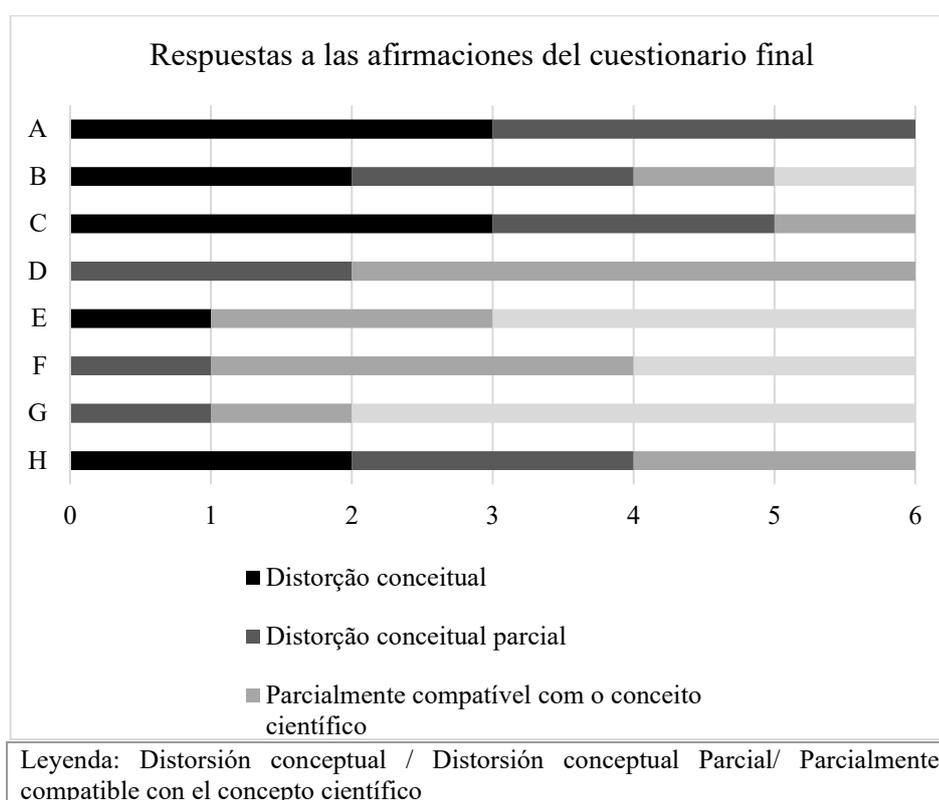
A pesar de identificar un "punto de equilibrio" en el uso del término *información genética* -que se encuentra entre la metáfora, que representa una exageración en la atribución de aspectos incompatibles a la información; y entre la reducción, que elimina la correspondencia como esencia importante del concepto-, los estudiantes también exhibieron concepciones mixtas, en las que manifestaron, al mismo tiempo, concepciones compatibles con el concepto científico y metafórico, como quedó claro en el discurso de E4.

- No dejaba de pensar que cuando miraba el árbol, estaba recibiendo esa información y luego pensaba en algún otro animal que lo veía como un obstáculo. Es el receptor porque está interactuando y está recibiendo esa información, pero también está percibiendo por qué tiene la correspondencia formulando esa información, procesándola, ¿verdad?

Si bien existen indicadores como los términos que *coinciden e interactúan*, podemos identificar cicatrices a partir de un pensamiento metafórico, como lo indican las palabras *reciben y receptor*.

Las respuestas al cuestionario final con la respectiva cuantificación de las afirmaciones se muestran en el siguiente gráfico.

**Gráfico 1** – Respuestas al cuestionario final, indicando el número de afirmaciones marcadas en cada opción de la escala Likert. El eje x corresponde al número de encuestados y el eje y corresponde a las afirmaciones indicadas en la tabla 1



Fuente: Elaboración propia

Los enunciados que describían la *información* en términos metafóricos, utilizando palabras como *emisión y receptor*, fueron los que más contribuyeron a la distorsión conceptual por metáfora (A, B, C y D). Los estudiantes fueron capaces de identificar la inconsistencia teleológica en las afirmaciones F y G, indicando la ausencia de concepciones que se refieran explícitamente a la intencionalidad.

Estos resultados sugieren una de las siguientes hipótesis: *i)* existen perfiles conceptuales (MORTIMER; SCOTT; EL-HANI, 2011) relacionados con el concepto de información genética, es decir, el perfil que estructura la interpretación de los fenómenos a través de la metáfora y el perfil que interpreta a partir de la correspondencia; o *ii)* los estudiantes no tenían suficiente experiencia de aprendizaje para progresar de una connotación a otra. En este sentido,

sería importante que esta investigación continuara con el fin de verificar si es posible que los estudiantes alcancen un nivel de aprendizaje en el que solo aporten evidencias de aprendizaje con indicadores del concepto científico.

Carvalho, El-Hani y Nunes-Neto (2020) sugieren una reorganización del currículo de Biología para la Educación Media que prioriza los conceptos estructurantes de esta ciencia. Dado que estructurar conceptos aporta más beneficios cognitivos que la simple memorización, estamos de acuerdo con la propuesta, siempre y cuando esté alineada con los objetivos de CTSA Educación. De hecho, la adquisición de conceptos estructurantes permite una reorganización cognitiva que integra los conocimientos previos de los estudiantes, ofreciendo una nueva interpretación, más comprensiva y menos fragmentada.

En este sentido, la enseñanza de la *información* como principio fundamental de la Biología es potencialmente integradora, ya que permitirá a los estudiantes sentir una nueva interpretación de los fenómenos abordados en el estudio de las ciencias de la vida. Con base en el esquema propuesto por Ganiko-Dutra, Ceschim y Caldeira (pendiente de publicación), a través de la enseñanza del concepto de información, es posible integrar conocimientos de diferentes niveles de organización (molecular, orgánico y poblacional) en diferentes marcos temporales (fisiológico, ontogenético y evolutivo).

### Consideraciones finales

A partir de la comprensión de la *información* como principio fundamental de la Biología, a partir del mapeo de distorsiones conceptuales mediante la metáfora movilizadas para la comprensión conceptual, y teniendo en cuenta el potencial integrador de este concepto, enumeramos algunos desarrollos didácticos.

Los movimientos discursivos estratégicos y planificados son un recurso valioso para proporcionar experiencias de aprendizaje para que los estudiantes tengan la oportunidad de confrontar y reflexionar sobre las concepciones metafóricas y reconstruir sus propias comprensiones. En este sentido, la sistematización propuesta por Windschitl, Thompson y Braaten (2018) es de gran aporte al repertorio del docente de Biología.

Aunque el uso de metáforas puede generar distorsiones conceptuales, no se debe descartar su valor como recurso didáctico. Siempre y cuando el docente tenga conocimiento pedagógico del contenido, es posible que la metáfora contribuya al aprendizaje del concepto de *información* al explicitar la noción de correspondencia. Sin embargo, una vez que el profesor

diagnostica la sedimentación del aprendizaje, también es necesario explicitar los aspectos incompatibles de la metáfora, por ejemplo, la intencionalidad.

Una etapa importante en el aprendizaje es la diferenciación: el *material genético*, la *información* y la *comunicación*. Es posible que los estudiantes mezclen estos tres conceptos, que son incompatibles. En este sentido, es importante que el profesor distinga entre ellos. Con esto queremos decir que enseñar sobre la estructura y funcionalidad de los ácidos nucleicos no es suficiente para aprender el concepto de *información*. Sin embargo, es a través de la enseñanza de conceptos científicos específicos de la Biología que se pueden enseñar conceptos estructurantes (CARVALHO; EL-HANI; NUNES-NETO, 2020). Por lo tanto, al enseñar la estructura y el funcionamiento de los ácidos nucleicos, los maestros también pueden enseñar el concepto de *información*.

En cuanto a la estructura curricular de los cursos de formación inicial en Ciencias Biológicas, consideramos que el concepto de *información* puede estar presente en diferentes momentos: 1) en la disciplina de Filosofía de la Biología, profundizando la discusión y ofreciendo un espacio para la integración de conceptos; 2) en disciplinas específicas de Genética, Biología Molecular, Fisiología Celular, Evolución, Etología, entre otras. En los cursos de graduación, este concepto aún puede ser explorado en las disciplinas de la práctica docente, como una posibilidad para que los docentes organicen las clases utilizando la *información* como conocimiento de referencia para el enfrentamiento de problemas socioambientales; además de ser un eje integrador que organiza los contenidos de la Biología en la Educación Básica.

En esta investigación, se buscó ofrecer criterios para la enseñanza de la Genética señalando palabras no deseadas porque se trata de un uso metafórico del lenguaje; criterios para identificar un uso denotativo de la palabra *información* como sinónimo de correspondencia; ofrecer un marco de aserciones para el diagnóstico de las concepciones; e indicando implicaciones didácticas. Esperamos que estos registros contribuyan a la enseñanza de la Genética y a la formación de ciudadanos para la participación en la toma de decisiones relacionadas con problemas socioambientales que involucran cuestiones científicas y tecnológicas.

## REFERENCIAS

- BARBIERI, M. Evolution of the genetic code: the ambiguity-reduction theory. **BioSystems**, v. 185, 104024, 2019. DOI: 10.1016/j.biosystems.2019.104024.
- BERGSTROM, C. T.; ROSVALL, M. The transmission sense of information. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 159-176, 2011.
- BUCKLAND, M. K. Information as thing. **JASIST**, v. 42, n. 5, p. 351-360, 1991. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4571(199106)42:5%3C351::AID-ASI5%3E3.0.CO;2-3.
- CAPURRO, R.; HJORLAND, B. O conceito de informação. Tradução: CARDOSO, Ana Maria Pereira; FERREIRA, Maria da Glória Achtschin; AZEVEDO, Marco Antônio de. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 12, n. 1, p. 148-207, 2007.
- CARVALHO, Í. N. de; EL-HANI, C. N.; NUNES-NETO, N. How Should We Select Conceptual Content for Biology High School Curricula? **Science & Education**, v. 29, p. 513-547, 2020. DOI: 10.1007/s11191-020-00115-9.
- CESCHIM, B.; GANIKO-DUTRA; M.; CALDEIRA, A. M. de A. Relação pensamento-linguagem e as Distorções Conceituais no Ensino de Biologia. **Ciência & Educação**, v. 26, e20068, 2020. DOI: 10.1590/1516-731320200068.
- EVANS, V.; GREEN, M. **Cognitive linguistics: An introduction**. New York: Routledge, 2006.
- GANIKO-DUTRA, M. **Relação pensamento-linguagem e distorções conceituais no uso de termos informacionais na Biologia Molecular e Genética**. 2021. 135 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2021.
- GANIKO-DUTRA; M.; CALDEIRA, A. M. de A. Relação pensamento-linguagem na compreensão do conceito de “informação” na formação inicial em Ciências Biológicas. *In: ENCUESTRO IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN (EIDE)*, 16., 2022, Santiago.
- GLYNN, S. M. The Teaching with Analogies Model. *In: MUTH, K. D. Children’s Comprehension of Text*. Newark: International Reading Association, 2007. p. 185-204.
- GODFREY-SMITH, P. Information in Biology. *In: HULL, D. L.; RUSE, M. The Cambridge Guide to the Philosophy of Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. p. 103-119.
- GODFREY-SMITH, P. Senders, receivers and genetic information: comments on Bergstrom and Rosvall. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 177-181, 2011.
- KOONIN, E. V. The meaning of biological information. **Philosophical Transactions of The Royal Society A**, v. 374, n. 2063, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0065.

- LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Metaphors we live by**. London: University of Chicago Press, 2003.
- LEVY, A. Information in Biology: A Fictionalist Account. **NÔUS**, v. 45, n. 4, p. 640-657, 2011.
- MACLAURIN, J. Commentary on "The transmission sense of information" by Carl T. Bergstrom and Martin Rosvall. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 191-194, 2011.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Palas Athena, 2001.
- MAYNARD-SMITH, J. The concept of Information in Biology. **Philosophy of Science**, v. 67, n. 2, p. 177-194, 2000.
- MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; EL-HANI, Charbel N. Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 30, p. 111-128, 2011.
- PATTON, M. Q. **Qualitative Research & Evaluation Methods**. 3. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2002.
- PLANER, R. J. Replacement of the "genetic program" program. **Biology & Philosophy**, v. 29, p. 33-53, 2014.
- RICARDO, E. C. Educação CTSA: obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. esp., 2007.
- SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Revista Ensaio**, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.
- SCHEINER, S. M. Toward a Conceptual Framework for Biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 5, n. 3, p. 293-318, 2010.
- SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.
- SHEA, N. Representation in the genome and in other inheritance systems. **Biology & Philosophy**, v. 22, p. 313-331, 2007.
- SHEA, N. What's transmitted? Inherited information. **Biology & Philosophy**, v. 26, p. 183-189, 2011.
- SHULMAN, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

STEGMANN, U. E. On the 'transmission sense of information'. **Biology & Philosophy**, v. 28, p. 141-144, 2014.

STEGMANN, U. E. The arbitrariness of the genetic code. **Biology & Philosophy**, v. 19, n. 2, p. 205-222, 2004.

TAYLOR, P. C. Contemporary Qualitative Research. In: LEDERMAN, Norman G.; ABELL, Sandra K. **Handbook of Research on Science Education: Volume II**. Nova York: Routledge, 2014. p. 38-54.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

WANDERSEE, J. H.; FISHER, K. M.; MOODY, D. E. The Nature of Biology Knowledge. In: FISHER, K. M.; WANDERSEE, J. H.; MOODY, D. E. **Mapping Biology Knowledge**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 25-38.

WILLIAMS, G. C. **Natural Selection: Domains, levels and Challenges**. New York: Oxford University Press, 1992.

WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M. Talk as a Tool for Learning. In: WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M. **Ambitious Science Teaching**. Cambridge: Harvard Education Press, 2018. p. 39-64.

### ***CRediT Author Statement***

---

**Reconocimientos:** Queremos agradecer a los participantes del Grupo de Investigación en Epistemología de la Biología (GPEB), a los evaluadores de la revista y a los profesores del comité de calificación de los primeros autores, por las consideraciones que contribuyeron a la mejora del trabajo.

**Financiación:** El presente estudio fue realizado con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamiento 001; el Grupo de Investigación en Epistemología de la Biología (GPEB) recibe financiación del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq).

**Conflictos de intereses:** No.

**Aprobación ética:** El trabajo involucra la recolección de datos con seres humanos y fue aprobado por el Comité de Ética e Investigación de Plataforma Brasil. CAAE: 58230422.0.0000.5398. Número de opinión: 5.500.604.

**Disponibilidad de datos y material:** Los datos estarán parcialmente disponibles en el Repositorio Institucional.

**Contribuciones de los autores:** El primer autor contribuyó a la concepción del trabajo, la recolección de datos, el análisis de datos y la redacción del manuscrito; el segundo autor contribuyó a la concepción del trabajo, la redacción y las revisiones críticas; el tercer autor fue el supervisor del trabajo.

---

**Procesamiento y edición: Editora Iberoamericana de Educación - EIAE.**  
Corrección, formateo, normalización y traducción.

