

Evaluación de las representaciones que construyen alumnos de Bachillerato sobre la herencia genética

***Araceli Báez Islas**

araceli.baez@icat.unam.mx

***Leticia Gallegos-Cázares**

leticia.gallegos@icat.unam.mx

Beatriz Eugenia García-Rivera

beatriz.garcia@icat.unam.mx

** Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología-UNAM*

Área temática: Evaluación del aprendizaje y del desempeño escolar

Resumen

Desde el enfoque representacional-inferencial se asume que, todas las personas podemos generar representaciones con las cuales inferimos, razonamos, comprendemos, organizamos y explicitamos nuestro conocimiento; estas representaciones, aunque pueden no ser correspondientes con las convenciones de lo que representan, tienen la posibilidad de funcionar como herramientas epistémicas para el sujeto cuando las emplea para elaborar inferencias que le permiten generar explicaciones. En este trabajo se analizan, a través del enfoque representacional-inferencial, las representaciones que emplean estudiantes de bachillerato para explicar el tema de herencia genética. Para dicho análisis, se diseñó un cuestionario, aplicado como pretest y postest a un total de 125 estudiantes de tercer semestre de bachillerato. Los resultados dan cuenta de las representaciones e inferencias que explicitan los alumnos para explicar qué heredan los progenitores en su gameto. Los hallazgos de esta investigación indican que, bajo este marco de análisis, las evaluaciones convencionales que se hacen para conocer lo aprendido por los alumnos, pueden tener un sesgo, debido a que no consideran todos los elementos implicados en las representaciones que los alumnos utilizan para explicar el tema.

Palabras clave: herencia genética, bachillerato, representaciones, evaluación

Justificación

El propósito de esta investigación se centra en analizar las representaciones desde el cambio representacional, donde se sitúa el enfoque representacional-inferencial, debido a que este enfoque permite identificar cómo los sujetos utilizan las representaciones que construyen para realizar inferencias que son válidas para ellos. Lo relevante de esta propuesta de análisis es que no se establece como requisito que la representación hecha por el sujeto tenga similitud con lo representado, lo que importa es conocer utiliza la representación para realizar distintos tipos de inferencias.

En consecuencia, un análisis a través del enfoque representacional-inferencial, hace necesario replantear la evaluación que se hace del aprendizaje de los estudiantes, ya que lo que puede parecer incorrecto desde una evaluación convencional, debido a que las representaciones que el alumno genera no guardan una relación directa con lo representado, desde esta perspectiva implica que la inferencia que puede realizar con su representación o representaciones puede derivar en una explicación con coherencia interna y, por lo tanto, que sea válida (Suarez, 2004); por ejemplo, si a una persona se le pregunta ¿cómo es que se heredan las características de una generación a otra?, bien podría representar un óvulo o un espermatozoide para explicar que es a través de estas células que se heredan las características de padres a hijos, ya que son las que participan en la fecundación; bajo esta idea, no será relevante si su representación gráfica es o no semejante a una célula, o si incluye todos los elementos que de este tipo celular, lo relevante será la inferencia referida a la herencia que puede generar con con la representación y que dicha inferencia tenga una coherencia interna que la haga válida.

Para analizar las representaciones desde el enfoque representacional-inferencial se seleccionó el tema de herencia genética debido a: 1) La relevancia social y biológica del tema (Muela, Abril 2014; Domènech-Casal, 2016), pues se considera fundamental para la alfabetización científica de la población (Jalmo y Suwandi, 2018); 2) La importancia de la genética en la didáctica de las ciencias, principalmente por los resultados negativos de su aprendizaje en diferentes niveles escolarizados (Aydin, Sahin y Sicaker, 2014; Sonogo y Ladvoat, 2014; Ruiz, Banet y López, 2017; Murtonena, Nokkalab, Södervik, 2018 y Aiveli y Uitto, 2021); 3) Su estudio requiere el análisis de diferentes procesos que incluyen distintos niveles representacionales y modelos conceptuales que deben estar integrados para lograr una comprensión completa, lo que permite realizar análisis desde el enfoque representacional-inferencial. Así, en este trabajo se analizan

las representaciones de los estudiantes para identificar cuáles de ellas son empleadas como herramientas epistémicas para explicar algunos procesos de genética, con lo que se busca contribuir en la comprensión de los problemas que enfrentan para alcanzar una comprensión clara y adecuada del tema.

Objetivo general

- Analizar, a través del enfoque representacional-inferencial, las representaciones que explicitan estudiantes de bachillerato para explicar qué se hereda en los gametos.

Objetivos particulares

- Identificar las herramientas epistémicas que los estudiantes de la muestra utilizan para explicar qué se hereda en los gametos.
- Generar una propuesta de análisis de las representaciones como herramientas epistémicas.

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las representaciones e inferencias que utilizan alumnos de bachillerato para explicar qué se hereda en los gametos?
- ¿Todas las representaciones que los alumnos construyen alrededor de una demanda conceptual tienen un uso epistémico?

Enfoque conceptual

En el campo de la enseñanza de las ciencias, la pregunta sobre cómo ocurren los procesos de adquisición y construcción de conocimiento en los sujetos ha hecho que surjan distintos enfoques teóricos que pretenden darle respuesta, uno de ellos, es el cambio conceptual, donde se reconoce que el sujeto es un ser cognoscente que tiene la capacidad de generar sus propias construcciones conceptuales y que su aprendizaje radica en esa posibilidad de construcción. Esto implica una mirada distinta del aprendizaje, donde el conocimiento está determinado por el sujeto mismo, ya que el aprendizaje es un proceso interno y dinámico, y el cambio ocurre como proceso individual.

En la actualidad, hay propuestas que sugieren que más que hablar de un cambio conceptual es conveniente referirse a un cambio representacional, ya que una representación es un término más amplio y acorde, pues los conceptos por sí mismos no tienen significado si no son

interpretados desde una visión y una estructura conceptual que les posibilita ser representaciones de algo, así que un cambio en el concepto está necesariamente asociado a un cambio en una representación. Por tanto, la representación es una estructura conceptual compleja que el sujeto construye para establecer relaciones, explicar e inferir posibles comportamientos fenomenológicos (Pozo y Rodrigo, 2001). Así, cuando ocurre un 'cambio conceptual' o reestructuración en la mente del sujeto, ésta se da en los esquemas o elementos que dan sentido a los términos y conceptos (Pozo, 2003), es decir, no hay un reemplazo de conceptos, sino una modificación en las representaciones internas del sujeto. En este sentido, una representación es una estructura generada por el sujeto, con la que puede conceptualizar, visualizar, materializar o inferir propiedades o cualidades posibles de lo que representa en diferentes formatos o modos (Flores y Valdez, 2007).

Las representaciones que el sujeto construye son útiles para generar explicaciones que podrán o no ser correspondientes con los conceptos científicos, pero sí satisfacen la coherencia mínima que el sujeto requiere para interpretar y funcionar en su entorno; pueden ser implícitas, cuando estas se encuentran en la mente del sujeto, o explícitas, cuando se expresan en cualquier formato representacional (lenguaje, símbolo, dibujo, ecuación, etc.).

La importancia del análisis del aprendizaje desde las representaciones es reconocer que a partir de ellas se pueden generar inferencias que dan cuenta de la comprensión un tema en cuestión. En el enfoque inferencial-representacional que se propone en este trabajo de investigación, se reconoce el uso que el sujeto le da a la representación que explicita en algún formato, para poder generar inferencias que serán válidas para él, pero además se acepta que, debido a que la representación por sí misma no tiene un poder explicativo, la representación no requiere guardar similitudes isomórficas con lo que se está representando, pero sí debe contar con distintos elementos que den cuenta de que está teniendo un uso epistémico.

En este sentido, esta propuesta permite analizar los procesos de razonamiento de los estudiantes, ya que de acuerdo con la forma en que abordan y articulan cada elemento de su representación, será la inferencia que construyan, la cual dará cuenta del uso de la representación como una Herramienta Epistémica (HE). En el enfoque representacional-inferencial, para que las representaciones puedan cumplir la función de ser HE, deben estar

constituidas por cinco componentes, denominados elementos constitutivos de la representación (Gallegos, Flores y Calderón, 2021), los cuales se describen a continuación:

- **Intencionalidad:** Referida a la toma de conciencia del sujeto sobre la pregunta, situación o fenomenología planteada. Por ejemplo, en cuando se pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a los padres?, el sujeto que reconoce la intención puede explicitar representaciones alineadas a la herencia de características entre generaciones.
- **Elementos de interpretación:** Son los elementos con los que el sujeto cuenta para realizar las inferencias, desde sus concepciones básicas, experiencias cotidianas e información que obtiene en distintos contextos como el social, familiar, escolar. Por ejemplo, comparar sus rasgos con los de su familia.
- **Formas de expresión (signo-material):** Se refiere a la explicitación de la representación en algún formato, ya sea a través de imágenes, expresiones lingüísticas, gráficos, símbolos, objetos, etc. Por ejemplo, explicación textual-verbal de cómo se pudo heredar determinada característica en la familia.
- **Inferencia:** Se refiere al razonamiento que el sujeto realiza y explicita a partir de los elementos de la representación con que cuenta. Por ejemplo, a partir de un árbol genealógico que construye para representar cómo se hereda determinada característica, en su inferencia puede establecer lazos de parentesco.
- **Reglas de coordinación:** Son procesos que el sujeto utiliza para verificar su inferencia y darle validez a través de la observación o la medición, de tal manera que muestran cómo los elementos inferidos en la representación conectan con lo representado. Por ejemplo, si la inferencia generada por un sujeto es que el bebé heredó el color de ojos de la abuela, en su representación deben estar explícitos los elementos que den cuenta de ello.

Con respecto a la investigación de la enseñanza de la genética, existen diversas investigaciones que ponen en evidencia que los estudiantes tienen problemas de aprendizaje para explicar los conceptos básicos de genética; por ejemplo, Caballero, (2008) menciona que en un estudio que realizaron con estudiantes de bachillerato, los alumnos tienen dificultad para distinguir los distintos niveles en que la información genética se organiza y cómo es que es heredada; en otro estudio, Argento (2013) también reporta las mismas dificultades. Sin embargo, en ninguna de estas investigaciones se menciona cómo es que los alumnos representan estos niveles, o si los niveles que sí logran reconocer están asociados a la construcción de una inferencia que explique

cuál es su función. Esta situación muestra la importancia de analizar lo que los sujetos representan desde las inferencias que pueden generar con ellas.

Estrategia metodológica

La intervención se realizó en dos Escuelas Preparatorias Oficiales del Estado de México (EPO), la EPO 314 y la preparatoria anexa a la Normal de Chalco, las cuales son de carácter público en su modalidad de Bachillerato General y siguen los programas de estudio (2018) de la Dirección General de Bachillerato. La muestra está conformada por 125 alumnos que cursaban la asignatura de Biología I en el tercer semestre. En la EPO 314 participaron dos profesores cada uno con un grupo, el primero, caracterizado como 3ro1, con 26 alumnos, y el segundo, caracterizado como 3ro2, con 34 alumnos. En la preparatoria anexa a la Normal de Chalco, participó un profesor con dos grupos a su cargo, los cuales se caracterizaron como 3ro3, con 33 alumnos, y 3ro4, con 32 alumnos.

Para la recolección de datos se aplicó un cuestionario con 19 ítems, que fue validado previamente, obteniendo una Alfa de Cronbach de 0.87; este instrumento se aplicó antes de que los alumnos revisaran el tema, y también siete semanas, después de que abordar el tema con sus respectivos profesores.

Desarrollo

Para establecer las categorías de análisis que dieran cuenta de los procesos de comprensión sobre la herencia genética, se partió de lo propuesto por Stewart y colaboradores (2005), quienes mencionan que, para lograr una comprensión clara y completa de este tema, los estudiantes deben realizar una conexión entre tres modelos conceptuales: genético, meiótico y molecular.

En este trabajo se reporta parte de los resultados del análisis referido al modelo genético, en el cual el alumno entre otras cosas, debe reconocer cuál es la información genética que se encuentra en las células sexuales (gametos); los ítems analizados que, en conjunto, muestran el uso de las representaciones como herramientas epistémicas para dar respuesta de ello son el 2, 3, 6 y 7, en los que se solicita a los alumnos que a través de dibujos y esquemas representen la información genética para la herencia de determinado fenotipo que se encuentra en los gametos y que a través de explicaciones escritas lo justifiquen.

Resultados

Los resultados de este análisis indican que, en su mayoría, los alumnos emplean representaciones con un uso epistémico. En total se encontró el uso de cinco HE distintas, que se muestran en la tabla 2 junto con la descripción de sus elementos constitutivos: En todas ellas la intención está alineada a responder cuál es la información genética que se encuentra en las células sexuales (gametos).

Tabla 2. Herramientas epistémicas empleadas por los alumnos

Representación	Signo material	Inferencia	Regla de coordinación
HE1 En los gametos hay entidades (ADN o genes) que son las características que heredan los progenitores	Textual ADN o genes, que son las características. Gráfica Estructuras como figuras o bolitas.	Los gametos contienen genes o ADN, que son las características que los progenitores heredan a su descendencia.	En el interior de los gametos se pueden observar estructuras.
HE2 En los gametos hay estructuras definidas (ADN, genes o cromosomas) implicadas en la expresión de las características.	Textual ADN, genes o cromosomas, son los portadores de rasgos. Simbólica Estructuras que representan genes, ADN o cromosomas.	Las estructuras como ADN, genes o cromosomas que tienen los gametos se heredan a la descendencia, y es donde se encuentran los rasgos.	En el interior de los gametos se pueden observar estructuras como ADN, genes o cromosomas.
HE3 En los gametos hay estructuras definidas (cromosomas) implicadas en la expresión de las características.	Textual Los cromosomas contienen los rasgos Simbólica Cromosomas sexuales.	En los cromosomas X o Y, están las características que los progenitores heredan.	En el interior de los gametos se pueden observar los cromosomas X o Y.
HE4 En los gametos hay información genética (ADN, cromosomas y/o genes) que corresponde a la mitad del total que posee un organismo.	Textual ADN, cromosomas o genes, que se heredan. Simbólica Estructuras genéticas.	Cada progenitor hereda en sus gametos la mitad de su información genética por medio de los genes, ADN o cromosomas	En el interior de los gametos se observa la mitad de la información que hay en una célula somática.
HE-5 En los gametos hay información genética (ADN, cromosomas y/o genes) que corresponde a la mitad del total que posee un organismo.	Textual ADN, cromosomas o genes, que heredan. Simbólica Estructuras genéticas, contenidas unas en otras.	Cada progenitor hereda en sus gametos la mitad de su información genética por medio de los cromosomas.	En el interior de los gametos se observan 23 cromosomas y en las células somáticas 46.

En el cuestionario pretest, 51 alumnos, que corresponden al 41% del total de la muestra, son los que no evidenciaron uso de las representaciones como HE, mientras que en el postest esto ocurrió solo con seis alumnos (5% de la muestra). Como era de esperarse, en el pretest se utilizaron menos HE que en el postest. En el gráfico 1 se muestra esta diferencia.

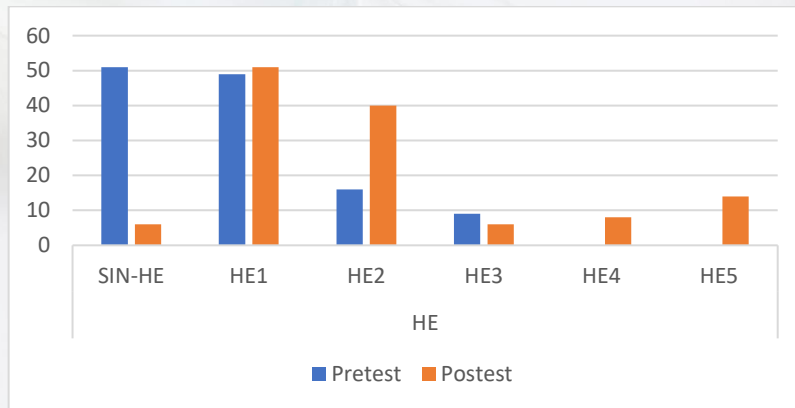


Gráfico 1. Diferencia de HE utilizadas en pretest y postest empleadas para responder cuál es la información genética que se encuentra en las células sexuales (gametos)

Desde el aprendizaje de la herencia genética, el uso de diferentes herramientas epistémicas implica una comprensión en distintos niveles de abstracción. El uso de la HE1 presenta un comportamiento constante, ya que la diferencia de frecuencia entre pretest y postest es solo del 2%; en este sentido, es relevante destacar que 24 alumnos la utilizan tanto en el pretest como en el postest, mientras que 25 alumnos, que no habían empleado ninguna HE en el pretest, utilizan la HE1 en el postest. Si bien la HE1 indica una representación alejada de los símbolos genéticos, funciona como herramienta epistémica porque las “bolitas” dibujadas representan a los genes que portan rasgos y que son heredados por los progenitores. Aunque esta inferencia no es completa, es válida al estar alineada con la intención y tener una coherencia interna.

Con respecto a la HE2, presenta una mayor frecuencia de uso en el postest, lo que muestra un cambio significativo, ya que 40 alumnos la emplean y reconocen la existencia de estructuras genéticas relacionadas con la herencia y expresión de las características, y visualmente son más cercanas a la simbología empleada de forma escolarizada. Cabe destacar que, en principio, es una inferencia muy cercana a la HE1, la diferencia es el uso de símbolos genéticos. En cuanto a la HE3, la inferencia que generan los alumnos que la exhiben es muy distinta a las anteriores, ya que únicamente reconocen a los cromosomas sexuales como las estructuras que se encuentran

en los gametos y que son los portadores de los rasgos que se heredan, específicamente los espermatozoides llevan un cromosoma Y, y el óvulo un cromosoma X. Las HE4 y HE5, tuvieron una baja frecuencia de uso en pretest y postest, ya que menos del 10% de alumnos las emplearon; en ellas, los alumnos reconocen la existencia de estructuras genéticas relacionadas con la herencia y expresión de las características, además logran inferir que esta información corresponde a la mitad del total de un individuo, ya que los gametos participan en la fecundación. En la HE5 también pueden establecer una jerarquía entre estructuras.

Por otra parte, los resultados de este análisis preliminar indican que existe una relación importante entre los elementos constitutivos de las representaciones, ya que en representaciones que corresponden a la HE1, el signo material empleado es textual y gráfico, mientras que en el resto de las HE, además se utiliza el nivel simbólico.

Conclusiones

Como primer punto, es importante señalar que los resultados de las representaciones que generan los alumnos son consistentes con lo reportado en la literatura; por ejemplo, Argento (2013) menciona que en un estudio realizado con estudiantes de bachillerato italianos y españoles, los alumnos indican que la información genética solo se encuentra en células sexuales, lo que es correspondiente con la HE3 de esta investigación. En otros estudios que analizan la comprensión que tienen estudiantes de bachillerato sobre herencia genética (Lewis y Kattmann, 2004; Caballero, 2008; Agorram, et al, 2010; y Dikmenli, Cardak y Kiray, 2011) reportan la dificultad que tienen para reconocer las estructuras en las se organiza la información genética, y que el gen o las estructuras genéticas son las portadoras de rasgos, lo cual indica que predomina un determinismo genético, lo que corresponde con las HE1 y HE2 de este estudio.

Por otra parte, estos resultados indican que si bien no todas las representaciones son utilizadas por los alumnos para generar inferencias, las representaciones sí tienen la posibilidad de ser empleadas como herramientas epistémicas, y para ello, éstas no tienen que guardar una semejanza isomórfica con lo que se representa, lo que nos lleva a reconocer que un análisis bajo el enfoque representacional-inferencial nos permite analizar los procesos de comprensión del conocimiento y pone en evidencia que muchas de las respuestas de los alumnos, más allá de ser consideradas como incorrectas, deberían analizarse para identificar las inferencias válidas que les permiten en distintos niveles de abstracción, lo que es útil para proponer estrategias

didácticas que ayuden a los alumnos a continuar con el uso de la representación como herramienta epistémica, hasta llegar al nivel de abstracción requerido.

Referencias

- Agorram, B., Clément, P., Selmaoui, S., Khzami, S., Chafik, J., y Chiadli, A. (2010), "University students' conceptions about the concept of gene: Interest of historical approach". *US-China Education Review*, vol. 7, no. 2, pp. 9-15.
- Aivelo, T. y Uitto, A. (2021). Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science Education*. 43. [https://doi: 10.1080/09500693.2021.1917789](https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1917789).
- Argento, D. (2013). *Estudio exploratorio sobre preconcepciones en el área de Genética en alumnos de secundaria italianos y españoles*. Tesis de máster. Universidad internacional de La Rioja, Madrid.
- Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-243.
- Dikmenli, M., Cardak, O., Kiray., S. (2011). Science Student Teachers' Ideas about the 'Gene' Concept, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, doi:10.1016/j.sbspro.2011.04.155.
- Domènech-Casal (2016) Gene Hunting: una secuencia contextualizada de indagación alrededor de la expresión génica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 342-358. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18292>
- Flores, C. F. y Valdez, R. (2007). Enfoques epistemológicos y cambios representacionales y conceptuales. En J. Pozo y F. Flores (Eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia* (pp. 21-35). Madrid: Antonio Machado Libros.
- Gallegos, L., Flores, F. y Calderón, C. (2021). Elementary School Children's Explanations of Day and Night. An Interpretation Based on an Inferential Approach to Representations. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00230-1>
- Lewis, J., y Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Muela y Abril (2014) Genetics and Cinema: Personal Misconceptions that Constitute Obstacles to Learning, *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 4:3, 260-280, [https://doi: 10.1080/21548455.2013.817026](https://doi.org/10.1080/21548455.2013.817026)
- Stewart, J., Cartier, J., Passmore, C, 2005, "Developing understanding through model-based inquiry" en M. S. Donovan, y J. D. Bransford (Eds.), *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom*, pp. 515–565.
- Suárez, M. (2004). An inferential conception of scientific representation. *Philosophy of science*. 71, 767–779.
-