



Las herramientas epistémicas que utilizan estudiantes de bachillerato para explicar los procesos de herencia genética

*Leticia Gallegos-Cázares

leticia.gallegos@icat.unam.mx

*Beatriz Eugenia García-Rivera

beatriz.garcia@icat.unam.mx

*Araceli Báez Islas

baia890507mdfzsro0@bggem.mx

* Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología-
UNAM

a) Evaluación del aprendizaje y del desempeño
escolar

Resumen

Con las experiencias personales y sociales, las personas generamos representaciones que son los elementos a partir de los que inferimos, razonamos, comprendemos, organizamos y explicitamos conocimiento sobre alguna fenomenología. Este trabajo analiza los elementos constitutivos de las representaciones, para identificar cuáles de ellas son las herramientas epistémicas que estudiantes de bachillerato utilizan para explicar algunos procesos de genética, como la herencia y expresión del fenotipo. Se contó con una muestra intencional no probabilística de 59 alumnos de bachillerato, de entre 16 y 18 años, conformada por 47 mujeres y 29 varones. Todos cursaban la materia de Biología I del cuarto semestre del subsistema bachillerato general de las Escuelas Preparatorias Oficiales del Estado de México. Los alumnos resolvieron un cuestionario conformado por 5 ítems, diseñado de acuerdo con la Integración de Conocimiento. Los resultados evidencian que toda la muestra tiene la posibilidad de explicitar representaciones para responder a una demanda conceptual e interpretar fenómenos



de su entorno. Sin embargo, solo la mitad de los alumnos logró utilizarlas como herramientas epistémicas, al generar inferencias que reflejan reglas de coordinación. De esto deriva la importancia de que la enseñanza fomente la explicitación de las representaciones de los estudiantes como herramientas epistémicas, y que estas sean aprovechadas para la construcción de su conocimiento, con interpretaciones y explicaciones más cercanas a las científicas.

Palabras clave: Bachillerato, herramientas epistémicas, herencia genética

Planteamiento del problema

En las últimas décadas se han planteado nuevas propuestas para analizar los procesos de construcción del conocimiento, entre ellas se ubica el enfoque representacional, que considera que todos los sujetos tienen la posibilidad de construir sus propias representaciones de acuerdo con la realidad que perciben e interpretan. La investigación en el campo de las ciencias cuenta con diversos trabajos que analizan los procesos de construcción del conocimiento desde este enfoque (Goldman, 2003; Schnotz y Kurschner, 2007; Ainsworth, 2008; Wu y Puntambekar, 2012), en los que se destaca su relevancia, al permitir analizar cómo los sujetos generan explicaciones (representaciones) para comprender diferentes fenómenos de nuestro entorno.

Como es de suponer, estas representaciones no solo se construyen en la educación formal, sino que comienzan a generarse desde las experiencias personales y sociales, que son los elementos a partir de los que se infiere, razona, comprende, organiza y explicita el conocimiento logrado, por lo que actúan como herramientas epistémicas que posibilitan al sujeto para que interactúe ante situaciones y problemas específicos de su entorno (Contessa, 2007; Knuuttila, 2011). Por ejemplo, aún sin conocer formalmente conceptos de genética, todas las personas hemos construido representaciones sobre la herencia y la expresión con la intención de respondernos ¿por qué los hijos nos parecemos a nuestros padres? Y, a partir de los diferentes ejemplos que nos rodean, generamos inferencias que nos permiten establecer nuestras primeras relaciones de parentesco.

Todas estas explicaciones, que tienen su origen en experiencias personales y en lo que percibimos, forman parte de nuestras herramientas epistémicas intuitivas, que están



cimentadas en un modelo representacional-inferencial que construimos para explicarnos diversos fenómenos. Por ello, en este trabajo se considera importante analizar las herramientas epistémicas (HE) que los estudiantes utilizan para explicar algunos procesos de genética, como la herencia y expresión del fenotipo, desde un enfoque epistémico inferencial (Suárez 2004; Contessa, 2007), ya que dichas herramientas constituyen su repertorio básico, con el que comprenden e interpretan distintas fenomenologías y es a partir de ellas que construyen nuevos conocimientos.

Justificación

Para realizar el análisis, se eligió la genética debido a que es un tema que ha sido ampliamente estudiado en distintos niveles educativos y desde diferentes enfoques (Lewis y Kattmann, 2004; Gericke y Hagberg, 2006; Duncan y Reiser, 2007; Dauer et al., 2013; Freidenreich, Duncan y Shea, 2011), y porque la mayoría de las investigaciones reportan dificultades en cuanto a su enseñanza y aprendizaje. Por ejemplo, se menciona que su aprendizaje es poco significativo y escasamente comprendido por los estudiantes (Bullago, 1995; Banet y Ayuso, 2000; Figini y De Micheli, 2005), quienes muestran problemas para comprender y representar los conceptos y los procesos implicados (Lewis, Leach, y Wood-Robinson, 2000; Freidenreich, Duncan y Shea, 2011; Gericke y Wahlberg, 2013).

Conocer las herramientas epistémicas que los estudiantes han construido sobre este tema puede ayudar a comprender algunas de las dificultades en su aprendizaje, como lo es la ausencia en los alumnos de un de un amplio concepto intuitivo de azar, de un pensamiento multinivel y multifactorial (Bugallo, 1995; Muela y Abril, 2014; Aivelo y Uitto, 2021), entre muchos otros aspectos. Con esto en mente y con la intención de entender más acerca de los problemas que los estudiantes enfrentan para alcanzar una comprensión clara y adecuada de la genética, es que este trabajo analiza las concepciones que tienen los alumnos de bachillerato sobre los fenómenos de herencia genética, desde el marco representacional de las herramientas epistémicas.

Fundamentación teórica

Las representaciones pueden funcionar como herramientas epistémicas si con ellas se elaboran las inferencias o razonamientos que permiten encontrar explicaciones a una



situación o problema específico. Para que pueda cumplir esta función, la representación debe cumplir con un conjunto de características que permitan al sujeto dar sentido al fenómeno, interpretarlo, comprenderlo y explicarlo. En este sentido, una herramienta epistémica está constituida por:

- **Intencionalidad:** Se refiere a la toma de conciencia del sujeto sobre la finalidad de la representación, por qué se construye. Por ejemplo, buscar responder ¿Por qué los hijos se parecen a los padres?
- **Elementos de interpretación:** Elaborados a partir de las concepciones básicas del sujeto y de sus experiencias cotidianas, con los cuales genera la representación que le permite generar una hipótesis o explicación. Por ejemplo, los comentarios referidos a que un bebé nacido dentro de la familia tiene los ojos de la abuela.
- **Formas de expresión (signo-material):** Esto implica que toda representación coherente y estructurada se expresa de alguna forma, ya sea a través de imágenes, expresiones lingüísticas, gráficos, símbolos, objetos, etc. Por ejemplo, expresiones verbales de las observaciones de los sujetos o fotografías de la familia.
- **Inferencia:** Se refiere al razonamiento que puede realizar el sujeto a partir de los elementos de la representación con que cuenta, con la finalidad de generar inferencias válidas, que se pueden aplicar a objetos reales o imaginarios. Por ejemplo, establecer lazos de parentesco y herencia de características.
- **Reglas de coordinación:** Muestran cómo los elementos inferidos en la representación conectan con lo representado, son procesos de verificación de la inferencia a través de la observación o la medición. Por ejemplo, qué es lo que se hereda (el color de ojos) o quién lo hereda (la mamá).

Esta propuesta permite comprender cómo los estudiantes, de acuerdo con la capacidad que tienen para abordar cada elemento constitutivo de la herramienta y conjuntarlos, construyen conocimientos y explicaciones denotan los elementos que configuran sus representaciones, así como sus procesos de razonamiento y la forma en que coordinan estas representaciones con lo observable. Nuestra perspectiva considera que los factores epistémicos nos ayudan a comprender cómo cada sujeto



desarrolla sus propias representaciones y, en particular, a determinar si esas representaciones intuitivas son coherentes o fragmentadas.

Objetivos

El objetivo de esta investigación fue analizar, a través de sus elementos constitutivos, las representaciones, como herramientas epistémicas intuitivas, que utilizan estudiantes de bachillerato sobre la herencia genética.

Metodología

Como punto de partida y mediante una revisión de la literatura, se identificaron distintas inferencias presentes en alumnos de primaria, secundaria y bachillerato, referidas al reconocimiento de la herencia genética (Tabla 1), con la intención de conocer si algunas de ellas eran elaboradas por los alumnos de bachillerato de nuestra muestra.

Basados en el modelo representacional-inferencial, se analizaron las representaciones, el razonamiento, y las explicaciones sobre la herencia genética de estudiantes de bachillerato, sobre cómo se hereda y expresa un determinado fenotipo, para identificar si estas funcionan como herramientas epistémicas.

Tabla 1. Ejemplos de las concepciones sobre genética reportadas en la literatura, que permitieron identificar tres inferencias intuitivas.

Idea o concepción	Descripción	Inferencia elaborada
Si el padre es alto y el hijo es hombre, entonces será alto; de tal forma que, si la madre es chaparra y la hija es mujer, entonces será chaparra (Kargbo y Erickson, 1980).	Los padres heredan sus características tal como ellos las presentan.	1. Cada progenitor pasa todas sus características a la descendencia sin cambio.
Los genes contienen las características físicas de las personas (Duncan y Reiser, 2007).	Los padres heredan sus características sin cambios.	
Si eres igual a tu madre y has obtenido todos los fenotipos de ella, tal vez el ADN de las funciones de tus órganos fue copiado de la composición genética de tu padre (Mills, Van, Zhang y Boughman 2008).	Ambos padres heredan su información genética a sus hijos, pero esta se utiliza para desempeñar distintas funciones.	
Si se combinan los genes de los padres se obtiene un tipo de mezcla que no será exactamente igual a la de cualquiera de los padres, así es como obtienes la diferencia (Engel y Wood-Robinson, 1985).	Los padres heredan sus genes como los tienen, al unirse se combinan y se obtiene la diferencia en las características de la descendencia.	2. Cada progenitor pasa su información genética a la descendencia, sin cambios, la diferencia ocurre cuando dicha



		información se mezcla.
Una característica domina sobre otra, como una competencia entre las dos y una gana o suprime a la otra (Allchin, 2000)	Los padres heredan sus características y en sus hijos se expresa aquella que domine	3. Cada progenitor hereda sus características y los hijos expresan aquella que haya ganado o dominado
Si todos de ambos lados de tu familia son altos, tú serás alto. Si la mitad son altos y la otra mitad bajos, tienes una probabilidad del 50/50 de ser alto o bajo. También tienes la posibilidad de estar en el intermedio (Mills, Van, Zhang y Boughman 2008)	La característica que exprese un individuo se determina por cuál gane o cómo se combinen por cuestiones de probabilidad	

Se trabajó con una muestra intencional no probabilística de 59 alumnos de bachillerato de entre 16 y 18 años, conformados por 29 hombres y 47 mujeres. Todos cursaban la materia de Biología I del cuarto semestre del subsistema bachillerato general de las Escuelas Preparatorias Oficiales del Estado de México, turno matutino. Los alumnos estuvieron divididos en dos grupos, cada uno a cargo de su profesor titular, y todos participaron de manera informada y voluntaria.

Instrumento de análisis

Los alumnos realizaron una lectura sobre la expresión del albinismo, con la intención de promover la elaboración y explicitación de sus representaciones para analizarlas como posibles herramientas epistémicas, al resolver un cuestionario conformado por 5 ítems, el cual se diseñó considerando la Integración de Conocimiento, esto es, tener la habilidad de generar ideas relevantes, así como conectar ideas para elaborar mejores explicaciones. (Lee, Liu y Linn, 2011). Los ítems se centraron en descripciones, explicaciones e interpretaciones escritas de la situación planteada en la lectura, así como la construcción de representaciones mediante dibujos, esquemas o estructuras genéticas, con la intención de que relacionaran los dibujos y esquemas elaborados con las explicaciones dadas y se establecieran inferencias a partir de las situaciones planteadas.

La primera y segunda preguntas del instrumento se plantearon con el objetivo de que los alumnos explicaran de forma textual si existe una relación entre la información genética y la expresión del albinismo; la tercera pregunta solicitó que generaran un modelo explicativo, utilizando una representación gráfica, sobre cuál es el mecanismo



por el que se expresa el albinismo; la cuarta y quinta preguntas se centraron en plantear una situación en la que una pareja heterosexual con un fenotipo "normal" tuvieron un hijo con albinismo, con el propósito de que generaran un modelo explicativo sobre cómo se expresó esta característica.

Resultados

Con las respuestas de los alumnos al cuestionario, se identificaron las herramientas epistémicas intuitivas, en función del tipo de inferencias que los alumnos explicitaron para responder ¿Cómo se hereda y expresa determinado fenotipo (albinismo)?

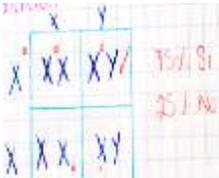
23 alumnos no reconocieron la intención de la representación, pues dieron respuestas que no están alineadas con la pregunta ¿Cómo se hereda y expresa el albinismo? Esto significa que únicamente generaron representaciones, sin evidenciar su uso como herramienta epistémica. Dos alumnos reconocieron la intención y generaron representaciones a partir de las cuales construyeron inferencias y reglas de coordinación, pero que no se relacionan con la herencia genética, pues están basadas en la fisiología del organismo; por ejemplo, "*el albinismo se presenta porque las personas no comen proteínas*". Con los datos de los 34 alumnos restantes fue posible identificar un total de cinco herramientas epistémicas intuitivas que sí se conectan con la pregunta central, y son las que a continuación se describen.

La HE1 fue explicitada por un alumno, mientras que la HE2 por tres alumnos, ambas herramientas corresponden con la primera inferencia reportada en la Tabla 1, la cual señala que cada progenitor pasa sus características físicas a la descendencia sin que estas cambien. La HE3 fue evidenciada por cuatro alumnos, y con ella se identifica que el sujeto considera que la información genética de los progenitores se puede modificar al combinarse y con esto se genera nueva información, lo que da lugar a la expresión de características no expresadas por los progenitores. Las HE4 y HE5 fueron evidenciadas por cuatro y 15 alumnos respectivamente, quienes consideran que cada progenitor pasa su información genética a la descendencia, que al combinarse pueden dar como resultado rasgos no expresados por los progenitores, lo cual corresponde a la segunda inferencia de la Tabla 1. La HE6 exhibida por siete alumnos, además de reconocer lo mismo que anteriores, infiere que la información genética se puede modificar por mutaciones, responsables de la expresión de la característica. En la Tabla



2 pueden verse todas las herramientas epistémicas identificadas, así como los elementos constituyentes que permitieron ubicarlas.

Tabla 2. Las herramientas epistémicas identificadas en las ideas que los alumnos expresaron.

Signo-Material empleado	Representación	Inferencia elaborada	Regla de coordinación	HE
Textual	Los padres heredan sus características a través de las células.	Un individuo es albino si los padres son albinos y esto lo heredan a través de sus células.	Padres albinos tienen hijos albinos.	1
Textual	Las características se heredan generación tras generación.	Un individuo puede ser albino si ese rasgo está en las características que hereda de generaciones anteriores.	Personas albinas tienen antepasados albinos.	2
Textual y gráfico		Un individuo puede ser albino por cómo se combina la información genética (ADN o genes) de los progenitores, ya que esto genera nueva información que puede corresponder esta condición.	El ADN de una persona albina es diferente al de sus progenitores con respecto a ese rasgo.	4
Textual	Los padres pueden heredar el gen del albinismo a su hijo sin que estos lo expresen.	Un individuo puede ser albino si uno o los dos progenitores tienen y heredan el gen del albinismo, aunque ellos no lo expresen.	En la información genética de los padres puede identificarse si está presente el gen del albinismo.	3
Textual Simbólico-matemático		Un individuo puede ser albino si sus dos progenitores tienen ese gen en su información genética, aunque no lo expresen. Al heredarlo, por probabilidad, el nuevo individuo puede tener ese rasgo.	En la información genética de los padres puede identificarse si está presente el gen del albinismo.	5
Textual Gráfico Simbólico-matemático		Un individuo puede ser albino si sus dos progenitores tienen, en su información genética, un gen mutado que no produce melanina (aunque ellos no lo expresen). Al heredarlo, por probabilidad, el nuevo individuo puede tener ese rasgo.	En la información genética de los padres puede identificarse si está presente el gen con esa mutación.	6

Los resultados encontrados en este estudio ponen en evidencia la importancia de la interacción entre los elementos de la herramienta epistémica; por ejemplo, en las HE 1 y 2, que consideran que la información genética no tiene posibilidades de cambio, el



signo material utilizado fue únicamente textual, mientras que para el resto de las HE, que consideran que la información genética que se expresa puede cambiar en la descendencia por cuestiones de combinación, probabilidad o mutaciones, además de textuales, se utilizaron representaciones simbólicas-matemáticas y gráficas.

Con lo reportado, también se puede observar la persistencia y robustez de las herramientas epistémicas intuitivas para generar explicaciones fenomenológicas, como lo es el caso de la herencia genética, ya que algunas de las inferencias reconocidas en la literatura en niños pequeños se encontraron en parte de esta muestra de estudio, en alumnos que conciben la información genética como paquetes de información, piezas u objetos que se heredan sin cambios, que dan cuenta de una concepción inmutable de dicha información. Del mismo modo, se describe un mecanismo de dominancia y recesividad intuitivo como herramienta epistémica predominante para explicar que un rasgo no expresado en los progenitores puede ser fenotipo en la descendencia si ambos progenitores lo heredan.

Conclusiones

Esta investigación evidenció que todos los estudiantes de la muestra tienen la posibilidad de explicitar representaciones para responder a una demanda conceptual e interpretar fenómenos de su entorno; sin embargo, solo la mitad de ellos logró utilizarlas como herramientas epistémicas intuitivas, al generar inferencias que reflejan reglas de coordinación. De esto deriva la importancia de que la enseñanza fomente la explicitación de las representaciones de los alumnos para identificar cuáles de ellas son empleadas como herramientas epistémicas, y aprovecharlas para la construcción de su conocimiento, por lo que es necesario generar estrategias que los apoyen en la explicitación y reconocimiento de su repertorio de herramientas, así como en la construcción y uso epistémico de nuevas representaciones, que sean más cercanas a las explicaciones científicas.

Referencias

Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple representations when Learning Complex Scientific Concepts. En Gilbert, J., Reiner, M. y Nakhleh M. (Ed.), *Visualization:*



theory and practice in science education, Models and Modeling in Science Education. Volume 3. Springer.

Aivelo, T. y Uitto, A. (2021). Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science Education*, 43. Doi: 10.1080/09500693.2021.1917789.

Allchin, D. (2000). Mending Mendelism. *The American Biology Teacher*, 62(9), 632-639. Doi: 10.2307/4451001

Banet, E. y Ayuso, E. (2000). Teaching Genetics at Secondary School: A Strategy for Teaching about the Location of Inheritance Information. *Science Education*, 84, 313-351.

Bugallo Rodríguez, A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 379-385.

Contessa, G. (2007). Scientific representation, interpretation, and surrogate reasoning. *Philosophy of Science*, no. 74, pp. 48-68.

Dauer, J., Momsen J., Speth E., Makohon-Moore S. y Long t. (2013). Analyzing change in students' gene-to-evolution models in college-level introductory biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6) 639-659, Doi.org/10.1002/tea.21094

Duncan, R. G. & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959, Doi.org/10.1002/tea.20186

Figini, E. y Micheli, A. (2005). La Enseñanza de la Genética en el nivel medio y la educación polimodal: contenidos conceptuales en las actividades de los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, extra (VII Congreso), 1-5.

Freidenreich H., Duncan, R y Shea, N. (2011). Exploring Middle School Students' Understanding of Three Conceptual Models in Genetics, *International Journal of Science Education*, (33)17, 2323-2349, Doi: 10.1080/09500693.2010.536997

Gericke, N. y Wahlberg, S., (2013). "Clusters of concepts in molecular genetics: A study of Swedish upper secondary science students understanding", *Journal of biological education*, vol. 47, no. 2, pp. 73-83, Doi: 10.1080/00219266.2012.716785



Goldman, S. R. (2003). Learning in complex domains: When and why do multiple representations help? *Learning and Instruction*, 13(2), 239-244. Doi: 10.1016/S0959-4752(02)00023-3

Knippels, M. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. *The yo-yo learning and teaching strategy*, Utrecht, Netherlands: CD-β Press.

Knuuttila, T. (2011). "Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation", *Studies in History and Philosophy of Science*, no. 42, pp. 262-271.

Lee, H-S., Liu, O, L. y Linn, M. (2011). Validating measurement of knowledge integration in science using multiple-choice and explanation items. *Applied Measurement in Education*, 24(2), 115-136. Doi:10.1080/08957347.2011.554604

Lewis, J., Leach J. y Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74-79. Doi.org/10.1080/00219266.2000.9655689

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. Doi.org/10.1080/0950069032000072782

Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3), 1157-1168. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>

Muela, F., y Abril, A. (2014). Genetics and Cinema: Personal Misconceptions that Constitute Obstacles to Learning, *International Journal of Science Education*, Part B, 4:3, 260-280, DOI: 10.1080/21548455.2013.817026

Schnotz, W., Kürschner, C. (2008). External and internal representations in the acquisition and use of knowledge: visualization effects on mental model construction. *Instructional Science* 36(3):175-190 Doi: 10.1007/s11251-007-9029-2

Suárez, M. (2004). An inferential conception of scientific representation. *Philosophy of science*. 71, 767-779.



Wu, H.-K. y Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes, *Journal of Science Education and Technology*, 21, 754-767. Doi: 10.1007/s10956-011-9363-7