



REPRESENTACIONES COMO HERRAMIENTAS EPISTÉMICAS QUE UTILIZAN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO PARA EXPLICAR LA HERENCIA GENÉTICA

Araceli Báez Islas

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología
araceli.baez@icat.unam.mx

Leticia Gallegos Cázares

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología
leticia.gallegos@icat.unam.mx

Beatriz Eugenia García Rivera

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología
beatriz.garcia@icat.unam.mx

Área temática: A. 6 Educación en campos disciplinares

Línea temática: Educación en Ciencias Naturales

Tipo de ponencia: Reporte parcial de investigación



Resumen

A partir de las experiencias personales, sociales y escolares, todos tenemos la capacidad de generar representaciones que son los elementos a partir de los cuales se infiere, razona, comprende, organiza y explicita el conocimiento. Este trabajo analizó los elementos constitutivos de las representaciones para identificar su uso como herramientas epistémicas que permiten a los estudiantes construir inferencias para explicar un tema como el de la herencia genética que se aborda en esta investigación. La muestra total corresponde a 125 alumnos de bachillerato que cursaban la asignatura de Biología I del Bachillerato General, quienes resolvieron un cuestionario previamente validado que obtuvo un Alfa de Cronbach de 0.86. Los resultados aquí reportados corresponden a dos de las seis líneas temáticas que se analizaron para conocer cuál es la comprensión de los alumnos sobre los procesos hereditarios. De manera general, se encontró que si bien todos los estudiantes de la muestra tienen la posibilidad de explicitar representaciones en distintos formatos, no todos hacen uso de ellas como herramientas epistémicas; por ejemplo, en ocasiones los alumnos generan representaciones como una cadena de ADN sin que construyan alguna inferencia; y por otra parte, cada alumno tiene distintas posibilidades de construir inferencias para un mismo fenómeno, dependiendo del tipo de representación empleada. Estos hallazgos permiten reconocer la importancia de analizar las representaciones desde sus elementos constitutivos para identificar los procesos de razonamiento de los alumnos y con ello los principales problemas de análisis y comprensión que tienen sobre la herencia genética.

Palabras clave: Bachillerato, genética, representaciones mentales, representaciones simbólicas.

Introducción

Para analizar los procesos de construcción y estructuración del conocimiento de los sujetos, dentro de la perspectiva del cambio conceptual y representacional, se han planteado nuevas propuestas en las últimas décadas (Amin et al., 2014; Prain y Tytler, 2012; Sigüenza, 2000). Una de ellas es el enfoque representacional, donde se considera que, de acuerdo con la realidad que perciben e interpretan, todos los sujetos tienen la posibilidad de construir sus propias representaciones, y constituyen los elementos con los que pueden inferir, razonar, comprender, organizar y explicitar el alcance de su conocimiento. Estas representaciones, cercanas o no al conocimiento científico, tienen coherencia interna para cada individuo, por lo que puede emplearlas para generar inferencias válidas sobre los fenómenos estudiados (Flores, García, Gallegos y Calderón, 2020).

En la enseñanza de las ciencias, el enfoque representacional se ha abordado desde diferentes perspectivas epistemológicas y cognitivas, donde se resalta su relevancia en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Ainsworth, 2006; Tytler y Prain, 2013; Amin, Smith y Wisser, 2014; Pande y Chandrasekharan, 2017), ya que para ilustrar los conceptos y procesos científicos de manera escolarizada, es común el uso de múltiples representaciones externas como esquemas, símbolos, gráficos, dibujos, imágenes, animaciones y simuladores que los estudiantes utilizan para generar sus propias representaciones y construir explicaciones.

En particular, en la didáctica de la biología el uso de múltiples representaciones externas es recurrente por la complejidad de los fenómenos estudiados, ya que estos pueden ocurrir y analizarse en diferentes niveles de abstracción (macro, micro, molecular) (Tsui y Treagust, 2013). Pero, a pesar de su uso continuo, diversos estudios advierten que los estudiantes tienen conflictos para interpretar las representaciones que utilizan (Perales, 2006; Gilbert, Reiner y Nakhlen, 2008), así como para construir sus propias representaciones, (Pozo y Flores, 2007; Galagovsky, Di Giacomo y Castelo, 2009).

El tema de herencia genética toma especial relevancia, pues diversas investigaciones señalan que existe gran dificultad conceptual en los procesos de aprendizaje (Lewis, Leach, y Wood-Robinson, 2000; Freidenreich, Duncan y Shea; 2011), debido principalmente a la complejidad representacional implicada en el análisis e integración de sus conceptos y procesos centrales; por ejemplo, se ha identificado que los estudiantes suelen confundir o no reconocer la estructura, ubicación y definición de entidades como el ADN, cromosoma y gen; además, en algunos procesos como el de herencia y expresión de características, que ocurren a nivel molecular y celular, la mayoría de los estudiantes genera explicaciones a nivel macroscópico (Ibáñez y Martínez-Aznar, 2005), por lo que utilizan representaciones simbólicas en forma mecánica y carentes de significado.

Ante esta situación, es relevante generar análisis centrados en la construcción de explicaciones, que examinen lo que los alumnos son capaces de reconocer, interpretar, construir, reconstruir, inferir e integrar para generar inferencias válidas a partir de las representaciones que explicitan y utilizan. Para realizar este análisis, se eligió el tema de herencia genética debido a: 1) Su importancia en la alfabetización científica y en los ámbitos sociales, económicos y éticos (Banet y Ayuso, 2000, Aivelo y Uitto, 2021); 2) Su relevancia en la didáctica de las ciencias, principalmente por las dificultades reportadas en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Knippels, Waarlo y Boersma, 2005); 3) Las posibilidades de analizarlo desde el enfoque representacional, ya que para su comprensión se requiere utilizar y construir distintas representaciones de forma articulada (Duncan y Reiser, 2007; Gericke y Wahlberg, 2013).

Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Analizar como herramientas epistémicas, a través de sus elementos constitutivos, las representaciones que estudiantes de bachillerato emplean para explicar el tema de herencia genética.

•

Objetivos particulares

- Identificar, en alumnos de bachillerato, cuáles representaciones utilizan como herramientas epistémicas para explicar cómo es la información genética que los progenitores heredan a su descendencia.
- Identificar, en alumnos de bachillerato, cuáles representaciones utilizan como herramientas epistémicas para explicar el mecanismo de herencia y expresión para un determinado fenotipo.
- Generar una propuesta de análisis de las representaciones como herramientas epistémicas para el tema de herencia genética.

Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las representaciones que alumnos de bachillerato utilizan para explicar aspectos relacionados con la herencia genética?
2. ¿Todas las representaciones que los alumnos construyen alrededor de una demanda conceptual tienen un uso epistémico?
3. ¿Existe relación entre las representaciones que explicitan y las inferencias que construyen?

Hipótesis

Las inferencias que los estudiantes de bachillerato construyen para explicar el tema de herencia genética están relacionadas con el tipo de representaciones que explicitan y su uso como herramientas epistémicas.

Desarrollo

Marco teórico de las representaciones

Una representación es una estructura generada por el sujeto, con la que puede conceptualizar, visualizar, materializar o inferir propiedades posibles de lo que representa; estas representaciones son útiles para generar explicaciones que el sujeto requiere para interpretar y funcionar en su entorno (Flores y Valdez, 2007). Las representaciones son implícitas cuando se encuentran en la mente de los sujetos, y explícitas cuando se expresan en cualquier signo-material, de tal forma que, aunque no dispongan de ninguna instrucción al respecto, los sujetos construyen representaciones implícitas y/o explícitas para realizar explicaciones fenomenológicas todo el tiempo.

Así, las representaciones pueden funcionar como herramientas epistémicas (HE) si con ellas el sujeto elabora inferencias que le permitan encontrar explicaciones a una situación o problema específico. Para desempeñar esta función, la representación debe cumplir con un conjunto de características (Gallegos, Flores y Calderón, 2021), para que el sujeto pueda dar significado al fenómeno, así como 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 ejemplo, tratar de responder ¿Por qué los hijos se parecen a los padres?
- Elementos de interpretación: Son los elementos con que el sujeto cuenta para realizar las inferencias, desde sus concepciones básicas, experiencias cotidianas e información que obtiene en distintos contextos, como el escolar. Por ejemplo, los comentarios referidos a que un bebé nacido dentro de la familia “heredó” los ojos de la abuela.
- 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, construcciones de árboles genealógicos para explicar cómo se pudo heredar determinada característica en la familia.
- Inferencia: Se refiere al razonamiento que realiza el sujeto a partir de los elementos de la representación con que cuenta, la cual se pueden aplicar a objetos reales o imaginarios. Por ejemplo, establecer lazos de parentesco a través de la expresión de una característica.

- Reglas de coordinación: Son procesos de verificación de la inferencia a través de la observación o la medición, esto es, muestran cómo los elementos inferidos en la representación conectan con lo representado, Por ejemplo, qué es lo que se hereda (el color de ojos), o quién lo hereda (la mamá), elementos que deben estar incluidos en su representación.

La identificación de las HE permite analizar los procesos de razonamiento de los estudiantes, porque a través de este análisis, es posible conocer si pueden articular el resto de los elementos constitutivos de la representación para generar inferencias sobre el fenómeno implicado.

Marco metodológico

Para abordar el problema planteado y responder las preguntas de investigación, este trabajo analiza las representaciones de alumnos de bachillerato, antes y después de haber estudiado el tema de genética en la escuela con sus respectivos profesores. La muestra estuvo conformada por 125 alumnos que cursaban la asignatura de Biología I en el tercer semestre en la Escuela Preparatoria Oficial 314 y la preparatoria anexa a la Normal de Chalco. La distribución se describe en la Tabla 1. Participaron voluntariamente una profesora y dos profesores, todos biólogos, con maestría en educación y con un mínimo de cinco años de experiencia docente, quienes atendieron la solicitud de abordar con sus grupos los temas de herencia genética del programa de la Dirección General de Bachillerato (DGB, 2018) con una organización temática y didáctica específica.

Tabla 1. Distribución de la muestra participante en el estudio

EPO 314		
Alumnos	Hombres	26
	Mujeres	34
Preparatoria Anexa a la Normal de Chalco		
Alumnos	Hombres	20
	Mujeres	45

Para recolectar los datos de análisis se diseñó un instrumento que permitiera a los alumnos explicitar sus inferencias sobre distintos aspectos de la herencia genética a través de diferentes formatos representacionales, como textos, dibujos, esquemas y símbolos. Los ítems fueron estructurados considerando la Integración de Conocimiento, con la finalidad de propiciar la generación de explicaciones estructuradas en distintas situaciones, utilizando los conceptos involucrados, ejemplos y evidencia empírica (Lee, Liu y Linn, 2011). Por ello, los ítems permitían responder un mismo tema en distintos niveles de explicitación, con la intención de que sus respuestas tuvieran continuidad y así, poder analizar a mayor detalle las inferencias que construyen. Para atender estos aspectos se consideró lo siguiente:

- Ítems que se resuelven con los conocimientos escolares y no escolares de los alumnos, es decir, en los que el tema se puede tratar con evidencia empírica obtenida de su aprendizaje en contextos cotidianos y escolares.
- Describir situaciones cotidianas, fácilmente interpretables por los estudiantes, con la intención de permitir que se apoyen en representaciones de su entorno para explicar los fenómenos que se les presentan.
- Preguntas que permitan generar explicaciones a través de diferentes tipos de representaciones.
- Posibilitar un proceso de reestructuración de explicaciones a lo largo del instrumento, realizando diversos planteamientos que atiendan un mismo fenómeno, con distintos niveles de complejidad de respuesta.

Un ejemplo de la estructura del instrumento se presenta en la figura 1, donde se muestran algunos de los ítems que incluye. Puede apreciarse que en el ítem 6 hay un planteamiento sobre la habilidad de enrollar la lengua, situación cercana al contexto y experiencia de los alumnos, a partir de lo cual se les solicita la generación de un esquema explicativo con la intención de que utilicen representaciones de su entorno, por ejemplo, probando si ellos pueden o no enrollar la lengua, observando a sus compañeros o recordando su contexto familiar. El ítem 7 se conecta con el anterior, pero cambia el nivel de complejidad, ya que en este explícitamente se solicita la elaboración de dibujos y representaciones simbólicas del material genético que se encuentra en distintos tipos celulares, con lo que se busca que reestructuren sus representaciones previas en un lenguaje simbólico.

Figura 1. Ejemplo de la estructura de los ítems del cuestionario, que consideran la Integración del Conocimiento

6.- Enrollar la lengua se trata de una característica dominante, mientras que no poder enrollarla es recesiva. Ulises es un chico que no puede enrollar la lengua, mientras que su madre, padre y hermano sí pueden enrollarla. De acuerdo con los fenotipos descritos, indica cuáles serían los **posibles genotipos de los padres** y realiza un esquema con las posibles combinaciones que explican por qué Ulises no puede enrollar la lengua mientras que su hermano sí:

7.- **Dibuja** cómo se encuentra el genotipo de los padres de Ulises dentro de las células indicadas.

Madre de o Papá de Ulises		Ulises	
Célula somática	Célula sexual	Célula somática	Espermatozoide

La versión final del instrumento se validó con dos pruebas estadísticas: la prueba de consistencia interna que, mediante el alfa de Cronbach, mide la confiabilidad o consistencia interna de un instrumento, y la prueba Modelo de Crédito Parcial de Rasch, que determina el alineamiento entre ítems, conociendo su nivel de complejidad y si esto responde a los objetivos planteados. Con respecto a la consistencia interna, los datos se procesaron en el programa SPSS Statistics, obteniendo un valor de Alpha de Cronbach de 0.863, lo que indica una correlación adecuada y buena. En cuanto a la alineación de los ítems, el análisis se realizó en el programa WINSTEPS Rasch Software, con una calibración de ± 1 logit, donde todos los ítems se encontraron dentro de este rango.

Construcción de categorías de análisis

Los datos obtenidos del pretest y postest fueron sistematizados en bases de datos, y se determinaron líneas temáticas de análisis, que en conjunto permiten determinar la comprensión que el alumno tiene sobre los procesos de herencia genética. Las líneas temáticas fueron:

- a. Cómo se encuentra y organiza la información genética (ADN, cromosomas y genes).
- b. Cómo es la información genética que los progenitores heredan en sus gametos (óvulo y espermatozoide) a su descendencia.
- c. Cuál es el mecanismo de herencia y expresión de ciertas características (dominancia y recesividad).
- d. Cómo se expresa la información genética en un fenotipo (traducción de proteínas).
- e. Cómo ocurre la variabilidad genética (proceso de meiosis y crossing over).
- f. Cómo es la información genética que se encuentra en el núcleo de las diferentes células somáticas (diferenciación celular).

A partir de esta categorización, se rastrearon los elementos constitutivos en las representaciones que los alumnos explicitan para dar respuesta a los ítems, y de esta forma se determinó su uso como herramientas epistémicas, mismas que se describen en la sección de resultados.



Resultados

Cabe señalar que este trabajo reporta los resultados del análisis de dos de las seis líneas temáticas. En la línea b, la intencionalidad es que el alumno responda cómo es la información genética que los progenitores heredan a su descendencia para una característica. En los resultados del pretest se encontró que 51 alumnos no emplearon representaciones como HE, pues dieron respuestas que no están alineadas con la pregunta o respondieron con representaciones sin potencial inferencial; por ejemplo, en el ítem 2 se indica *Realiza un dibujo que muestre cómo se encuentra la información genética en el óvulo*, y la respuesta dada por un alumno fue “el

óvulo contiene información genética, y este se tiene que unir con un espermatozoide para crear a un nuevo ser”, lo que no permite interpretar cómo concibe este alumno dicha información genética. Por otra parte, 49 alumnos evidenciaron el uso de la HE1.0, 16 alumnos emplearon la HE2.1 y 9 alumnos la HE2.2. En el postest, solo 6 alumnos no exhibieron una HE, mientras que 51 emplearon la HE1.0, 40 la HE2.1 y 6 la HE2.2, además, se encontraron dos nuevas herramientas, la HE3.1 utilizada por ocho alumnos y la HE3.2 empleada por 14 alumnos. La descripción de los elementos constitutivos de cada HE se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Herramientas epistémicas encontradas en el análisis de la línea temática b

Herramientas epistémicas			
Representación	Representación en su expresión signo material	Inferencia	Regla de coordinación
En los gametos hay entidades (ADN, genes o cromosomas) que son las características que heredan los progenitores.	<p>Óvulo o espermatozoide tienen ADN, genes, o cromosomas que el alumno representa en forma textual o con los rasgos que los progenitores heredan, no tienen forma definida, pueden ser letras, bolitas. Ejemplo: “se mezclan los genes de los padres”.</p>	HE1.0 Los genes (figuras o rasgos), ADN o cromosomas que los gametos tienen son las características que los progenitores heredan a su descendencia.	En el interior de los gametos se pueden observar las entidades a las que se refiere.
En los gametos hay estructuras (ADN, o cromosomas) implicadas en la expresión de las características.	<p>La información genética son estructuras genéticas como ADN o cromosomas, que contienen los rasgos que heredan los progenitores.</p> <p>Ejemplo 2.1:</p> <p>Ejemplo 2.2:</p>	<p>HE2.1. Las estructuras como ADN o cromosomas que los gametos tienen en su interior se heredan y están implicadas en la expresión de las características en la descendencia.</p> <p>HE2.2. Los gametos contienen únicamente cromosomas sexuales X o Y donde se encuentran las características que los progenitores heredan a su descendencia.</p>	<p>En el interior de los gametos se pueden observar estructuras como ADN o cromosomas.</p> <p>En el interior de los gametos se pueden observar los cromosomas sexuales X o Y.</p>

Herramientas epistémicas			
Representación	Representación en su expresión signo material	Inferencia	Regla de coordinación
<p>En los gametos hay estructuras (ADN, cromosomas o genes) que corresponden solo a la mitad de información genética que posee un organismo.</p>	<p>La información genética son estructuras como ADN, genes, cromosomas, o representaciones simbólicas de alelos, que corresponden a la mitad de la información genética que heredan los progenitores en sus gametos.</p> <p>Ejemplo 3.1.</p>  <p>Ejemplo 3.2.</p> 	<p>HE3.1. Cada progenitor hereda en sus gametos la mitad de su información genética por medio de los genes (segmentos de ADN, alelos-letras).</p> <p>HE3.2. Cada progenitor hereda en sus gametos la mitad de su información genética por medio de los cromosomas.</p>	<p>En el interior de los gametos se observa la mitad de la información genética que hay en las células somáticas.</p> <p>En el interior de los gametos se observan 23 cromosomas y en las somáticas se observan 46.</p>

En esta línea temática, aunque todas las HE denotan concepciones sustancialistas de la información genética, en las HE 2.1, 2.2, 3.1 y 3.2 se utilizan símbolos genéticos con los que refieren estructuras que les permiten generar inferencias más estructuradas y cercanas al conocimiento científico, como lo son las HE 3.1 y 3.2.

En la línea c, la intencionalidad es que el alumno responda cuál es el mecanismo de herencia y expresión de determinado fenotipo en la descendencia. En los resultados del pretest se encontró que 47 alumnos no utilizaron HE, pues en el ítem 12. *¿Por qué los hijos pueden heredar y expresar algunas características de sus progenitores?* dieron respuestas como “cada progenitor hereda características a su descendencia”, sin establecer algún mecanismo que dé cuenta de alguna inferencia; 16 alumnos evidenciaron el uso de la HE1.0 y 62 alumnos emplearon la HE2.1. En el postest, solo 9 alumnos no exhibieron una HE, 3 emplearon la HE1.0, 44 utilizaron la HE2.1 y 69 la HE2.2. La descripción de los elementos constitutivos de cada HE se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Herramientas epistémicas encontradas en la línea temática c

Herramientas epistémicas			
Representación	Representación en su expresión signo material	Inferencia	Regla de coordinación
<p>Cada progenitor hereda cierta cantidad de genes a la descendencia.</p>	<p>Los progenitores o gametos heredan genes en menor o mayor cantidad para un determinado rasgo, los hijos expresan el rasgo del que hayan recibido más genes.</p> <p>Ejemplo.</p>	<p>HE1.0 Los hijos expresan los genes que heredaron en mayor cantidad de sus padres.</p>	<p>En el genotipo del hijo se encuentran más genes de un progenitor que de otro para cada característica.</p>
<p>Los progenitores pueden heredar características que no expresan, pero que están presentes en su genotipo.</p>	<p>El genotipo se representa como letras, figuras o símbolos genéticos (ADN o cromosomas), el mecanismo de expresión para unos alumnos puede ser el azar y para otros puede ser la dominancia y recesividad de los genes.</p> <p>Ejemplo 2.1.</p> <p>Ejemplo 2.2.</p>	<p>HE2.1. Los hijos pueden expresar un rasgo no expresado por los padres, porque uno de ellos lo tiene en su genotipo y lo heredó.</p> <p>HE2.2. Los hijos pueden expresar un rasgo no expresado por los padres, porque los dos lo tienen en su genotipo y lo heredaron.</p>	<p>En el genotipo de alguno de los padres se puede encontrar el gen del rasgo expresado por el hijo.</p> <p>En el genotipo de los dos padres se puede encontrar el gen del rasgo expresado por el hijo.</p>

En esta línea temática la HE1.0 formaría parte de una concepción intuitiva que hace referencia a la cantidad de información, sin establecer mecanismos de dominancia y recesividad, a diferencia de las HE 2.1 y 2.2 donde consideran la posibilidad de genes recesivos que no siempre se expresan; la HE 2.2 muestra una comprensión más clara de este mecanismo, al establecer como regla de expresión la presencia de dos genes recesivos para que la característica pueda expresarse en la descendencia.

Conclusiones

Los resultados encontrados hasta ahora evidencian la importancia de la interacción entre los elementos constitutivos de la representación, que dan cuenta de su uso como herramienta epistémica. Por ejemplo, los alumnos que no hacen uso de la representación como HE, únicamente utilizan representaciones textuales o gráficas donde no emplean el nivel simbólico, mientras que con HE como la 2.1 y 2.2, todos utilizan representaciones que incluyen tanto las textuales como las simbólico-gráficas. Además, se observa que cuando utilizan más de una representación y estas se encuentran articuladas, los alumnos elaboran inferencias más cercanas al conocimiento científico.

Por otra parte, se observa la persistencia de ideas que podrían considerarse como intuitivas (lo que posibilita el análisis bajo otra línea de investigación), ya que aparecen en el pretest y postest y no corresponden a ideas escolarizadas; por ejemplo, la inferencia de la HE1.0 de la línea temática c, donde los alumnos consideran que la expresión de una característica en la descendencia está determinada por la cantidad de genes que se heredan de cada progenitor, lo cual es una concepción sustancialista y estática de los procesos hereditarios.

Estos resultados ponen de manifiesto que no todas las representaciones que se generan tienen un uso epistémico, por las limitaciones que tienen para realizar inferencias válidas que estén relacionadas con la representación y la regla de coordinación. Es importante mencionar que aún se está en el proceso de análisis de las demás líneas temáticas que abordan ¿cómo es y se organiza la información genética que se encuentra en las células somáticas?, ¿cómo se expresa la información genética?, ¿cómo ocurre la variabilidad genética?, y ¿a qué hace referencia el proceso de diferenciación celular?, lo que dará cuenta en conjunto de cuál es la comprensión que tienen los alumnos de los procesos de herencia genética, lo que ayudará a determinar cuáles son sus procesos de razonamiento para este tema, así como las principales dificultades que tienen para su comprensión.

Referencias

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 15(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Aivelo, T., y Uitto, A. (2021). Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science. Education*, 43(9), 1408-1425. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1917789>
- Amin, T., Smith, C., y Wisner, M. (2014). Student Conceptions and Conceptual Change: Three Overlapping Phases of Research. In N. Lederman y S. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 57-81). Routledge.

- Banet, E., y Ayuso E. (2000). Teaching Genetics at Secondary School: A Strategy for Teaching about the Location of Inheritance Information. *Science Education*, 84(3), 313-351. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N)
- Duncan, R., y Reiser, B. (2007). Reasoning Across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of Molecular Genetics. *Journal of Research in science teaching*, 44(7) 938-959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Flores, F., y Valdez, F. (2007). Enfoques epistemológicos y cambios representacionales y conceptuales. In J. I. Pozo y F. Flores (Eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia* (pp 21-36). Antonio Machado Libros.
- Flores-Camacho, F. García-Rivera, B., Gallegos-Cázares, L., y Calderón-Canales, E. (2020). *Representaciones y aprendizaje de las ciencias* Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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. <https://doi.10.1080/09500693.2010.536997>
- Galagovsky, L., Di Giacomo, M., y Castelo, V. (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 1-22.
- Gallegos-Cázares, L., Flores-Camacho, F., y Calderón-Canales, E. (2021). Preschool Children's Reasoning about Sound from an Inferential-Representational Approach. *Education Sciences*, 11(4), 1-24. <https://doi.10.3390/educsci11040180>
- 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*, 47(2), 73-83. <https://doi.10.1080/00219266.2012.716785>
- Gilbert, J., Reiner, M., y Nakhleh, M. (2008). *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Springer.
- Ibáñez, T., y Martínez, M. (2005). Solving problems in genetic II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495-1519. <https://doi.org/10.1080/09500690500186584>
- 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. <https://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. <https://doi.10.1080/00219266.2000.9655689>
- Knippels, M., Waarlo, A., y Boersma, K. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics, *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112. <https://doi.10.1080/00219266.2005.9655976>
- Pande, P., y Chandrasekharan, S. (2017). Representational competence: toward a distributed and embodied cognition account. *Studies in Science Education*, 53(1), 1-43. <https://10.1080/03057267.2017.1248627>

- Perales, J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 24(1), 13-30.
- Pozo, J., y Flores, F. (2007), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Antonio Machado Libros.
- Prain, V., y Tytler, R. (2012). Learning through constructing representations in science: a framework of representational construction affordances, *International Journal of Science Education*, 34(17), 2751-2773. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.626462>
- Sigüenza, A. (2000). Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 439-450. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4030>
- Tsui, C.-Y., y Treagust, D. (2013). Introduction on multiple representations: The importance in biological education. In C.-Y., Tsui y D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 3-18). Springer.
- Tytler, R., y V. Prain. (2013). "Representation construction to support conceptual change", In Stella Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge.