

Qué aprenden los alumnos sobre Genética cuando trabajan en un ambiente multi-representacional

**LETICIA GALLEGOS CÁZARES
BEATRIZ EUGENIA GARCÍA-RIVERA
ARACELI BÁEZ-ISLAS**

*CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO,
UNIVERSIDAD*

TEMÁTICA GENERAL: EDUCACIÓN EN CAMPOS DISCIPLINARES

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de un proyecto que analiza la construcción de representaciones de estudiantes del bachillerato sobre Genética. Para identificar las representaciones de los estudiantes y conocer si estas cambian o se enriquecen al trabajar en un contexto de aprendizaje multi-representacional apoyado con TIC y otros recursos, se compararon grupos de alumnos que trabajaron el tema de Genética con uso limitado de recursos (lecturas, presentación del profesor, entre otros), contra grupos de estudiantes que emplearon más alternativas de representación (simuladores, actividades experimentales, esquemas, etc.). Para la obtención de datos se diseñó, validó y aplicó un cuestionario de 18 ítems (coeficiente alpha de Cronbach de 0.88) a una muestra de 387 alumnos, divididos en ocho grupos pertenecientes a la ENP y al CCH. Para determinar las diferencias entre los grupos se aplicó la prueba de ANOVA de un factor. Los resultados muestran que los alumnos que trabajaron en ambientes enriquecidos con múltiples representaciones obtuvieron las medias más altas en todos los ítems, dieron descripciones más completas y lograron mayor precisión en sus representaciones gráficas (dibujos y esquemas); mientras que los grupos con menor uso de representaciones tuvieron buenos resultados en sus explicaciones escritas, pero no así en las representaciones gráficas, ni en la posibilidad de generar modelos para describir los procesos. Estos hallazgos evidencian que cuando se potencia el uso de herramientas que promuevan la representación en múltiples contextos, se favorece la construcción y explicitación de representaciones internas más completas y complejas.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias, representaciones, genética, bachillerato, herramientas tecnológicas

INTRODUCCIÓN

El campo del aprendizaje de las ciencias ha transitado por diversas etapas desde hace ya varias décadas, en las que se han desarrollado nuevos enfoques y formas de enseñanza, que han implicado una transformación en los procesos e instrumentos de investigación y de evaluación. A partir del reconocimiento de las ideas previas (Duit y Treagust, 1998), se desarrollaron, por ejemplo, diversas teorías de cambio conceptual con distintas aproximaciones epistemológicas y cognitivas (Flores, 2004) que buscaban comprender y mejorar los procesos didácticos y curriculares en la enseñanza de las ciencias (Duschl y Grandy, 2008). Sin embargo, las aproximaciones didácticas en torno al cambio conceptual no aportaron todo lo que se esperaba y, actualmente, la búsqueda de nuevos marcos teóricos y procesos didácticos se ha reorientado hacia aspectos conceptuales que se encuentran en el origen de las concepciones de los alumnos, como son las representaciones.

Así, la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias se ha centrado en construcciones más cercanas a lo fenomenológico (elementos cognitivos con los que interpretan procesos y concepciones), como son las representaciones y su dinámica de cambio, donde los conceptos y sus relaciones con otros conceptos, así como diversos elementos fenomenológicos, forman parte de un complejo entramado (Kozma y Russell, 2005; Gilbert, 2008).

La idea de representación implica que el sujeto genera una estructura con la que puede inferir propiedades o cualidades posibles de lo que representa. En esa estructura, y sus posibilidades de hacer predicciones y generar explicaciones, radica la importancia de las representaciones, que se manifiestan como elementos útiles para dar cuenta de procesos que satisfacen la coherencia mínima que los sujetos requieren para interpretar y funcionar en su entorno (Flores y Valdez, 2007).

Por lo que respecta al uso de las representaciones externas en la enseñanza de la genética, Díez de Tancredi y Caballero (2004) mencionan que los profesores comúnmente utilizan representaciones externas para presentar la información a sus estudiantes, pues recurren a imágenes para representar por ejemplo, un cromosoma o el ADN, mientras dan una explicación verbal. Sin embargo, cuando se evalúa el conocimiento de los alumnos, pocas veces se contempla que los estudiantes hagan uso de estas representaciones externas para dar sus explicaciones. Por ello, Banet y Ayuso (2000) destacan lo insuficiente que resultan los instrumentos de evaluación que atiendan únicamente a la explicación o la descripción de los conceptos implicados

Un ejemplo de lo anterior es cuando en clase se utiliza lenguaje gráfico para resolver ejercicios de herencia mediante cuadros de Punnett. Por lo común, el significado que los estudiantes les dan está ligado a su conocimiento cotidiano y no logran identificar las diferencias entre los niveles de representación (e. g. características fenotípicas vs proceso de transcripción) ni la equivalencia entre las explicaciones de las diferentes formas de representación (Galagovsky, Rodríguez, Sanmartí, y Morales, 2003), por lo que pueden resolver sin demasiado problema los ejercicios planteados, pero cuando se les cuestiona sobre lo que significan los cruces que realizan o cómo se da la expresión de

esas características en los individuos, tienen dificultades para explicarlos (Ayuso, Banet y Abellán, 1996).

Resulta pues importante que la construcción y transformación de las representaciones de los estudiantes se vea favorecida con un proceso educativo que contemple, entre otros aspectos, que el alumno:

a) Dé sentido y explique los diversos fenómenos que se le presentan como objetos de aprendizaje escolar, con los conceptos que se han puesto en juego a lo largo de la trayectoria escolar.

b) Explícite sus representaciones, que dé cuenta de los elementos conceptuales que ha construido y que le permiten elaborar una interpretación de los fenómenos que se pide comprenda. Muestre indicios de la articulación de sus ideas y de los mecanismos que construye para darles significado y coherencia.

c) Con las situaciones de enseñanza, inicie un proceso de transformación representacional que requerirá de una nueva articulación de conceptos, de relaciones entre ellos y de sus implicaciones respecto a los referentes fenomenológicos y contenidos escolares.

A partir de la situación descrita, se planteó un proyecto para analizar la construcción de representaciones como herramientas cognitivas que permiten a los sujetos organizar y explicitar sus ideas o modelos respecto a una fenomenología particular cuando están inmersos en un ambiente de aprendizaje que cuenta con distintas tecnologías digitales y de colaboración, que se organizan para favorecer el uso de múltiples representaciones y promover el enriquecimiento de los procesos cognitivos de los estudiantes.

Derivado de esta investigación, el trabajo que aquí se presenta se centró en:

a) Conocer las representaciones que generan los estudiantes del bachillerato de la UNAM sobre el tema de Genética.

b) Comparar estas representaciones cuando los estudiantes trabajan con y sin un contexto de aprendizaje multi-representacional apoyado por el uso de las TIC.

DESARROLLO

Para conocer las representaciones que pueden generar los estudiantes cuando trabajan el tema de Genética, se eligieron grupos de estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la UNAM. La selección de los distintos grupos atendió a las posibilidades que tuvieron 8 profesores que les dieron clase de Biología, para incorporar distintos recursos y herramientas de representación externa con diferentes alternativas de representación (lecturas, animaciones, simuladores, actividades experimentales, esquemas y dibujos para comprender el análisis de casos clínicos, mapas conceptuales). De esta forma se tuvieron dos

condiciones: Condición A; grupos donde la incorporación de recursos fue mínima (solo se trabajó mediante presentaciones del profesor, cuestionarios, ejercicios de cuadros de Punnett y lecturas), y Condición B; grupos donde se potenció lo más posible el uso de los recursos (al emplear lecturas, simuladores, actividades experimentales, mapas conceptuales gráficas, esquemas, discusiones grupales) para favorecer la interacción de los alumnos y su posibilidad de generar representaciones más complejas y diversas.

Muestra

387 alumnos divididos en ocho grupos (seis de la ENP y dos del CCH). Aproximadamente el 50% fueron mujeres y el otro 50% fueron hombres, de 17 a 19 años de edad, turnos matutino y vespertino, del tercer año del bachillerato de la UNAM, divididos de la siguiente forma:

- Condición A. 217 estudiantes.
- Condición B. 170 estudiantes.

Diseño de la investigación

Para conocer las representaciones de los estudiantes se desarrolló un cuestionario escrito, que ofreciera oportunidades para la comprensión sobre las situaciones fenomenológicas presentadas, la elaboración de explicaciones y establecimiento de relaciones entre variables, así como la generación de representaciones gráficas diversas por parte de los alumnos. El cuestionario, conformado por 18 ítems, pasó por diferentes pruebas de validación (claridad, pertinencia, inteligibilidad, y completud) y confiabilidad (se alcanzó una alpha de Cronbach de 0.88). De esta manera obtuvo un instrumento que, mediante respuestas escritas, esquemas y dibujos, permite obtener datos para analizar las representaciones de los estudiantes.

El cuestionario fue respondido de forma individual por los alumnos de ambas condiciones, quienes habían trabajado el tema en clase un mes antes de la aplicación. El tiempo de resolución del instrumento fue de cincuenta minutos a una hora y cuarto.

Análisis de los datos

Para calificar los cuestionarios, se aplicó la rúbrica que se generó para la validación del instrumento, y que califica, en forma independiente, las respuestas de cada pregunta, mediante la asignación de valores de cero a cinco, de acuerdo los niveles que alcanzan en la comprensión de los conceptos y su uso en situaciones diversas, sus formas de representación externa, así como el nivel de las explicaciones que logran estructurar.

Para determinar si existen diferencias en la forma en cómo los alumnos comprenden y representan las situaciones y conceptos, una vez calificados los 387 cuestionarios y tomando en

cuenta el nivel de complejidad de cada pregunta, se realizaron distintos análisis estadísticos con el programa estadístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), que muestran, por pregunta, las medias de las dos condiciones y la media global; el estadístico F con su nivel de significación ($p \leq .005$), el cual refleja la varianza de las medias entre las condiciones, estas pruebas permitieron identificar diferencias en la comprensión y posibilidades de representación que los alumnos tuvieron para responder cada pregunta del instrumento. Además, se obtuvo información sobre los componentes principales y los conglomerados (clusters), que permiten establecer relaciones entre los distintos ítems de acuerdo al nivel de respuesta de los estudiantes y al nivel de complejidad que los ítems implican.

Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las pruebas estadísticas.

Varianza. Los resultados estadísticos revelan diferencias significativas ($p \leq .005$) en todas las preguntas entre las condiciones A y B. La pregunta 1 obtuvo el valor más bajo de F (11.3), las demás preguntas mostraron valores de F superiores a 24, y la pregunta 5 fue la que alcanzó el valor más alto ($F = 93$). Como ejemplo, se describe lo referente a las preguntas 1 y 5, por ser las que mayores diferencias mostraron en los valores.

Estos datos revelan que entre las preguntas 1 y 5 hay diferencias en las posibilidades de respuesta de los estudiantes, pues aunque ambas demandan una respuesta escrita que dé cuenta de la comprensión conceptual, la pregunta 1 cuestiona en forma general la herencia de características de los padres a la descendencia, por lo que los alumnos de ambas condiciones la respondieron con valores cercanos con medias $m = 2.8$ y $m = 3.05$. Por su parte, la pregunta 5 implicaba la descripción de posibles diferencias entre la información de las células del cuerpo de uno de los progenitores del caso presentado, fue aquí donde la condición A alcanzó una media de $m = 2.42$, mientras la condición B llegó a $m = 3.38$. Esta diferencia puede relacionarse con la posibilidad de que los estudiantes de la condición B tuvieron más oportunidades para observar diferentes tipos celulares y su material genético, lo que pudo ayudarles a identificar que, a excepción de los gametos, todas las células (independientemente del tipo celular de que se trate) tienen la misma información genética. En cambio, los alumnos de la condición A respondieron refiriéndose solo a las funciones de los distintos tipos celulares, lo que quizá se relacione con que en clase no contaron con alternativas en las que se representara el material genético.

Ejemplos de las respuestas de los alumnos de ambas condiciones para la pregunta 5 son los siguientes:

Alumno de la condición A (respuesta de nivel 3):

“Sí, porque cada célula del cuerpo tiene una cierta función o sea no todas pueden hacer lo de la otra. Bueno más bien tienen la misma información ya que es individuo, pero como ya dije cada una tiene una función”.

(Fue calificado con el nivel 3 de la rúbrica porque: reconoce que la información de todas las células de un organismo es la misma, independientemente de la función que realizan, pero no logra distinguir las diferencias de acuerdo a la información genética que contienen (células somáticas y sexuales)).

Alumno de la condición B (respuesta de nivel 5):

“Cada una de las células que posee Mauricio tiene la misma información ya que todas provienen de una célula totipotencial, y desde la fecundación a través de divisiones mitóticas pero cada célula expresa diferentes genes según sea el caso, o de qué célula se trate (como por ejemplo un hepatocito o un osteocito, etc.)”.

(Fue calificado con el nivel 5 de la rúbrica porque: reconoce que la información de todas las células de un organismo es la misma independientemente de la función que realizan, establece el origen común de todas las células del organismo y menciona ejemplos de distintos tipos celulares).

Los valores de las medias. Las medias más altas para todas las preguntas las obtuvo la Condición B, con un promedio $m = 3.27$, mientras que el promedio de la media de la Condición A fue $m = 2.53$. Para la condición B, la pregunta 12 obtuvo la media más baja ($m = 2.91$), y un valor de F de 40.8. Esta pregunta implica una respuesta escrita de tipo conceptual, e indaga los aspectos generales de la herencia genética. Estos resultados coinciden con los obtenidos para la pregunta 1, donde la media también fue baja, lo que permite destacar que las preguntas que requieren explicaciones conceptuales que evidencien una mayor comprensión de los procesos implicados en la herencia son difíciles de responder por todos los alumnos pues, independientemente de que hayan contado con distintas alternativas de representación para analizarlos, los estudiantes de las dos condiciones obtuvieron medias bajas.

Ejemplos de las respuestas de alumnos de ambas condiciones a la pregunta 12 son los siguientes:

Alumno de la Condición A (respuesta de nivel 3):

“Porque a pesar de que se hereda la mitad de genes de cada padre, no todas las características de ambos son seleccionados, además de que sus células se producen por meiosis por lo cual son distintos”.

Alumno de la Condición B (respuesta de nivel 4):

“Cada bebé va a ser diferente porque en la división meiótica va a haber un entrecruzamiento entre cromosomas homólogos lo que va a causar que fragmentos de un cromosoma se combinen con los de otro; y al momento de la fecundación se van a unir estos gametos que van a contener distintos caracteres heredables”.

(Ambas respuestas son semejantes, y dan cuenta de una comprensión general no muy compleja de la transmisión de características).

En la Condición B, la pregunta 13 obtuvo la media más alta ($m = 3.99$). Es una pregunta de representación gráfica, y en ella se integran los diferentes conceptos y estructuras implicadas en la herencia vistos a lo largo del cuestionario. El valor de la media muestra que los alumnos de la Condición B tienen mayores posibilidades de responder cuando se solicitan representaciones gráficas. En la figura 1 se muestran ejemplos de las representaciones de alumnos de las dos condiciones.

Ejemplo:	Tu dibujo de cómo son:	Indica dónde se ubican:
a) Gametos		Órganos sexuales
b) Material genético		Todos los células del cuerpo.
c) DNA		núcleo y mitocondrias de la célula.
d) Cromosomas		núcleo
e) Genes		núcleo.
f) Alelos		células de la sangre
g) Alteración genética		material genético

Ejemplo:	Tu dibujo de cómo son:	Indica dónde se ubican:
a) Gametos		Órganos sexuales órganos reproductivos
b) Material genético		Núcleo de toda célula. mitocondrias
c) DNA		Núcleo mitocondria. expresando genes.
d) Cromosomas		Núcleo célula. Asociación de DNA con histonas
e) Genes		Constituye una porción de un cromosoma (locus). se compone de tres
f) Alelos		Cada uno de las copias de un gen. se puede tener o dominantes o recesivos
g) Alteración genética		En la información genética. (Muchas gracias por tu colaboración) genes

Ejemplo:	Tu dibujo de cómo son:	Indica dónde se ubican:
a) Gametos		Órganos sexuales
b) Material genético		núcleo
c) DNA		células
d) Cromosomas		en el ADN nucleo
e) Genes		en el ADN nucleo
f) Alelos		en el espermatozoide
g) Alteración genética		

Ejemplo:	Tu dibujo de cómo son:	Indica dónde se ubican:
a) Gametos		En los órganos sexuales
b) Material genético		En el núcleo de la célula
c) DNA		En el núcleo de la célula.
d) Cromosomas		Forman parte del ADN pero se encuentran en el núcleo.
e) Genes		Forman parte del cromosoma pero se encuentran en el núcleo.
f) Alelos		Forman parte de los cromosomas.
g) Alteración genética		

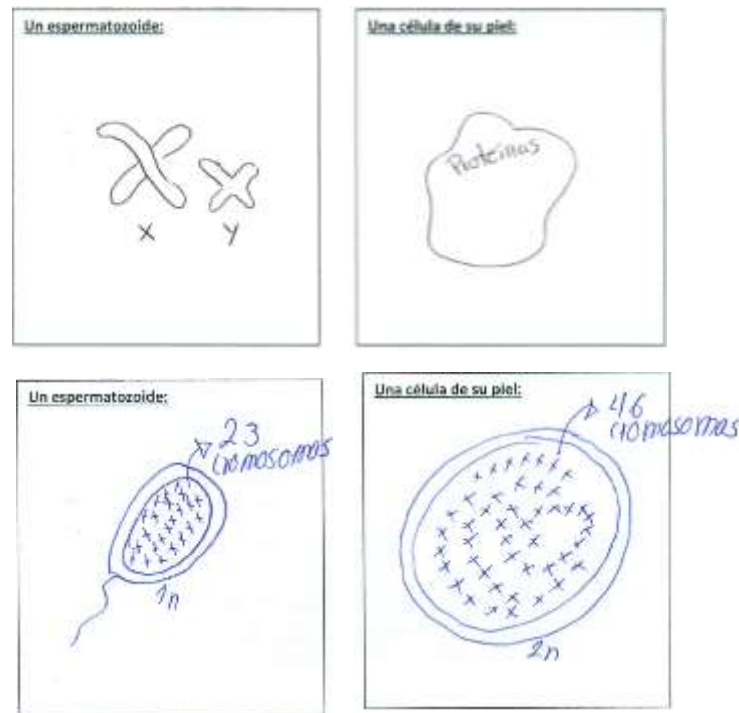
Figura 1. Ejemplos de las representaciones correspondientes a la pregunta 13. Arriba. Alumnos de la Condición B. La imagen de la izquierda corresponde a una calificación del nivel 4 y la imagen de la derecha a una del nivel 5. Abajo. Alumnos de la Condición A. La imagen de la izquierda corresponde a una calificación del nivel 3 y la imagen de la derecha a una del nivel 4.

Por lo que respecta la Condición A, la pregunta 6 tuvo la media más baja ($m = 2.11$). Corresponde a una pregunta de representación gráfica, mientras que la pregunta 2, que era de opción múltiple y donde había que justificar la selección, obtuvo la media más alta ($m = 3.18$).

Estos resultados indican que los alumnos de esta condición no contaron con suficientes representaciones externas que les ayudaran a representar gráficamente los conceptos y estructuras implicadas en la pregunta 6, ya que al igual que la pregunta 5, buscaba que los estudiantes fueran

más allá de pensar en las funciones de las células, y reconocieran aspectos de especialización celular, dada por la misma información genética que el individuo tiene en todas sus células. En la figura 2 se muestran ejemplos de las representaciones de alumnos de las dos condiciones.

Figura 2. Representaciones de dos alumnos sobre lo que consideran hay dentro de un espermatozoide (izquierda) y una célula de la piel (derecha). Arriba. Un alumno de la Condición A, (obtuvo nivel 3). Abajo. Un alumno de la Condición B, (obtuvo nivel 4).



Análisis de componentes principales. Los datos de las condiciones A y B fueron analizados mediante la prueba estadística de componentes principales, que agrupa las preguntas que presentan con algún rasgo de similitud. Se encontraron cuatro componentes:

Componente 1. Preguntas: 8ab, 8c, 9ab, 9c, 10, 11

Componente 2. Preguntas: 5, 7d, 7efg, 13

Componente 3. Preguntas: 3, 4, 6, 7ab, 7c

Componente 4. Preguntas: 1, 2, 12

Al comparar las agrupaciones se encontró que las relaciones identificadas entre las preguntas de cada componente tienen que ver con el tipo de información conceptual y representacional que el alumno requiere poner en juego para responderlas, por lo que se ubicó que:

- Las preguntas del componente 1 implican una justificación escrita, que no puede ser dada con definiciones conceptuales memorísticas, sino que el alumno debe responder a partir de establecer relaciones entre los conceptos teóricos empleados en las preguntas anteriores. Las preguntas se refieren a la herencia del tipo sanguíneo y a alteraciones genéticas.

- En la mayoría de las preguntas del segundo componente el alumno requiere utilizar las representaciones solicitadas en incisos anteriores para generar un modelo teórico que explique la situación planteada. Están referidas a la información que existe en las diferentes células del cuerpo humano y cómo se representa.

- En preguntas 3 y 4 del tercer componente se solicita la representación de la información genética de los gametos de los progenitores mediante dibujos, y fueron las más difíciles de responder para los alumnos de ambas condiciones, ya que solo el 5% de todos los estudiantes contestaron en el nivel 5. Estas preguntas se relacionan con la pregunta 6, que solicita representaciones gráficas tanto de la información genética en el espermatozoide como en una célula somática. En las preguntas 7ab y 7c, a partir de una situación particular, se solicita la explicación de mecanismos de herencia mediante el uso de representaciones gráficas.

- Las preguntas 1 y 12 del componente cuatro tienen planteamientos similares, la primera aborda las generalidades de la herencia genética y la segunda recupera el tema a partir de la explicación de por qué los hijos de una pareja son distintos entre sí. La pregunta 2 mantiene cercanía con ellas, porque presenta opciones de respuesta sobre la información que se hereda, y los alumnos deben completar la idea justificando su selección.

Análisis de conglomerados. Este análisis ratificó relaciones entre las preguntas detectadas con los componentes principales (3-4, 7ab-7c), lo cual es consistente, ya que se trata de preguntas que abordan las mismas cuestiones desde planteamientos diferentes, o bien, porque son preguntas que están relacionadas entre sí. Esta prueba también estableció que la mayor distancia está entre las preguntas 1-13 y 1-7abcd, indicando que representar o construir un modelo tiene un nivel de dificultad mucho mayor que explicar o describir un concepto.

CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta investigación evidencian diferencias importantes en el nivel alcanzado en las representaciones de los alumnos cuando trabajan en un contexto con recursos que les permiten representar de diversas formas los fenómenos abordados. Entre lo más destacado está que en los alumnos de la Condición B se aprecia la influencia de las distintas alternativas representacionales que se emplearon para abordar el tema de Genética porque los estudiantes lograron: distinguir más claramente las estructuras y los niveles de organización del material genético; reconocer y utilizar diferentes formas para simbolizar los procesos; establecer vínculos entre diferentes simbologías (letras del cuadro de Punnett y alelos en los niveles de organización) y; en general, mayor comprensión e integración de los procesos de la herencia.

De forma similar a otras investigaciones, este trabajo aporta elementos de análisis que muestran las diferencias que pueden alcanzarse cuando se pone énfasis en generar propuestas didácticas y alternativas de evaluación orientadas no solo en los aspectos conceptuales de las temáticas, sino también en promover la explicitación y transformación de las representaciones de los estudiantes. Como se ha visto, no es suficiente (aunque sí necesario) organizar un conjunto de actividades y ejercicios en torno a una temática particular, se requiere, además, hacer incorporar (en función de las propias representaciones de los alumnos, la posibilidad que tienen para comprenderlos, interpretarlos y analizarlos) de recursos y apoyos tecnológicos y didácticos que puedan ayudarlos a conectar sus representaciones y esquemas con otros sistemas de representación externa, y que les sirvan para analizar y comprender la fenomenología que se les presenta en el salón de clases.

NOTAS

Esta investigación tiene el apoyo del Conacyt CB- 238712.

Los autores agradecen a los profesores y alumnos de la ENP y el CCH que participaron para conformar la muestra.

REFERENCIAS

- Ayuso, E., Banet, E., y Abellán, T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios?. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 127-142.
- 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.
- Diez de Tancredi, D., y Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de investigación*, 56, 91-121.
Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2053453>
- Duit, R. & Treagust, D. F. (1998). Learning in science- from behaviourism towards social constructivism and beyond. En B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education, Part 1*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Duschl, R. & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates. En R. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*, Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers.
- Flores, F. (2004). El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química*, 15, 256-269.
- 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.
- Galagovsky, L., Rodríguez, M., Sanmartí, N. y Morales, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje



del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 107-121.

Gilbert, J. (2008) Visualization: an emergent field of practice and enquiry in science education. En J.K Gilbert, M Reiner y M. Nakhleh (Eds.) *Visualization: Theory and practice in science education*, Springer, 1-2.

Kozma R y Russell J. (2005) Students becoming chemists: developing representational competence. En J. Gilbert (Ed.) *Visualization in Science Education*, Netherlands: Springer.