

DIVERSIDAD DE REPRESENTACIONES SOBRE GENÉTICA, CÓMO PROMOVER SU CONSTRUCCIÓN Y EXPLICITACIÓN

ARACELI BÁEZ-ISLAS
FERNANDO FLORES-CAMACHO
BEATRIZ EUGENIA GARCÍA-RIVERA

*CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO,
UNIVERSIDAD*

TEMÁTICA GENERAL: EDUCACIÓN EN CAMPOS DISCIPLINARES

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados preliminares de un proyecto que analiza las representaciones que construyen estudiantes de bachillerato al generar modelos y explicaciones de los fenómenos o procesos científicos. Para conocer los niveles de representación que pueden alcanzar los alumnos, se elaboraron tres estrategias didácticas sobre el tema de Genética que comparten los mismos objetivos de aprendizaje y número de actividades, pero distintas en cuanto al uso creciente de recursos didácticos y herramientas tecnológicas digitales que hacen posible contar con una mayor diversidad de múltiples representaciones externas. Con apoyo de los profesores participantes, cada secuencia fue aplicada a un grupo diferente de estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria, resultando una muestra de 186 alumnos. Como instrumento de evaluación se desarrolló una entrevista semiestructurada que se aplicó en forma individual a 12 alumnos de dos grupos y a 11 de un grupo (35 en total). Los datos obtenidos fueron valorados por medio de una escala de 4 niveles que considera los alcances y limitaciones de las respuestas para describir, explicar y representar los distintos aspectos abordados del tema de genética. Los resultados preliminares muestran diferencias entre los alumnos que trabajaron con más apoyos multi-representacionales y los alumnos de los otros dos grupos, pues a pesar de que todos dieron descripciones conceptuales semejantes, cuando se potenció el uso de herramientas tecnológicas que posibilitan la construcción de múltiples representaciones externas en los alumnos, estos alcanzaron una mejor comprensión e integración del tema, distinguieron claramente las distintas estructuras y niveles de organización del material genético y elaboraron esquemas y descripciones más completas y complejas, respondiendo en términos de procesos y no solo de conceptos o contenidos memorizados.

Palabras clave: Genética, representaciones, herramientas tecnológicas, estrategias didácticas

INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas, la investigación en el campo del aprendizaje de las ciencias ha pasado por distintas etapas, entre las que está el reconocimiento de las ideas previas (Duit y Treagust, 1998) y el desarrollo de teorías de cambio conceptual con diferentes 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, el cambio conceptual no aportó todo lo que se esperaba y 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 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 de conocimiento (Kozma y Russell, 2005; Gilbert, 2008). En este enfoque juegan tanto las representaciones internas como las externas y, a partir de ellas, se plantean nuevos retos en los niveles teórico y metodológico para la comprensión del aprendizaje.

En lo que a educación se refiere, es necesario transformar y desarrollar nuevos enfoques en las formas de enseñanza, los objetivos de aprendizaje y las situaciones didácticas que al descentrarse de los conceptos requieren cambios en su organización, ejecución y evaluación. Esto lleva a generar propuestas que favorezcan procesos cognitivos, que impulsen a los alumnos a la construcción y transformación de sus representaciones a la par que alcanzan logros específicos de conocimientos o habilidades determinadas.

Este trabajo se fundamenta, entonces, en el enfoque de la construcción de representaciones como herramientas cognitivas que permiten a los sujetos explicitar la comprensión del conocimiento científico, y tiene como propósitos:

- Identificar las diversas representaciones que los estudiantes de bachillerato generan sobre los mecanismos genéticos de la herencia.
- Conocer la influencia que en estas representaciones tiene el uso diferenciado de herramientas tecnológicas digitales y recursos didácticos orientados a favorecer un entorno multi-representacional.

DESARROLLO

Marco teórico

La idea de representación como construcción cercana a lo fenomenológico, implica que el sujeto genera una estructura con la que puede inferir propiedades o cualidades posibles de lo que está representando. En esta estructura, y sus posibilidades de hacer predicciones y generar explicaciones, radica la importancia de las representaciones, puesto que se manifiestan como elementos útiles para dar cuenta de procesos que podrán o no ser correspondientes con lo observable, pero que satisfacen

la coherencia mínima que los sujetos requieren para interpretar y funcionar en su entorno (Flores y Valdez, 2007).

Estas representaciones pueden ser externas o internas, las externas se refieren a todo elemento icónico o simbólico con el que se denota a lo que se representa, y que se muestra a los estudiantes como elementos para el aprendizaje y para el pensamiento y que constituyen, por ejemplo, la representación gráfica de un alelo mediante letras en cuadros de Punnett que es una representación externa lo mismo que una secuencia empleada para distinguir las bases nitrogenadas que corresponden a un gen.

En el ámbito escolar, la construcción y transformación de las representaciones (Tytler y Prain, 2010) puede favorecerse con un proceso educativo que considere, entre otros aspectos, que el alumno: necesita dar sentido y explicar los fenómenos que se le presentan, explicitar sus representaciones que dan cuenta de los elementos conceptuales que ha construido y que le permiten elaborar una interpretación de los fenómenos que se pide comprenda, mostrando una articulación de sus ideas y desarrollar con ello una transformación representacional. Esta transformación puede darse mediante procesos organizados alrededor de una temática específica, como las secuencias didácticas, que posibilitan analizar fenómenos relacionados en contextos distintos, y que brindan la posibilidad de representar la variación de los fenómenos de diferentes maneras. Los procesos de explicitación se deben llevar a cabo de manera coherente y sistemática, y por diversos medios de apoyo (escrito, oral, gráfico etc.) que les permitan hacer inferencias y generen un modelo representacional con el que puedan comprender el fenómeno con distintas posibilidades interpretativas.

METODOLOGÍA

Estructura de las Secuencias Didácticas

Para conocer las representaciones que los estudiantes pueden generar cuando trabajan el tema de genética en diferentes entornos de aprendizaje, se construyeron tres estrategias didácticas que incluyeron los subtemas: niveles de organización, ciclo celular, mitosis y meiosis, herencia mendeliana y, herencia por alelos múltiples y ligada al sexo; los cuales se organizaron y dividieron a lo largo de siete sesiones de 2hrs cada una.

Todas las estrategias tuvieron los mismos objetivos de aprendizaje conceptual de acuerdo al programa de estudios de la ENP, por ejemplo, para el subtema de ciclo celular el objetivo fue: Reconocer que las células tienen un ciclo, en el cual están implicados distintos niveles, identificar las fases del ciclo y que en cada nivel ocurren distintos procesos, que dan como resultado la formación de una nueva célula con características específicas. La diferencia de las estrategias consistió en la incorporación de herramientas tecnológicas y didácticas que les permitieran utilizar diversas formas de representación externa para abordar y analizar los conceptos y procesos implicados. En la tabla 1

se indica qué recursos y herramientas se incluyeron en cada una de las secuencias, y puede apreciarse que la estrategia III fue la que contó con mayor número de recursos tecnológicos.

Tabla 1. Recursos y herramientas tecnológicas que se utilizaron en las estrategias didácticas desarrolladas

Estrategia didáctica I Grupo 1 (G1)	Estrategia didáctica II Grupo 2 (G2)	Estrategia didáctica III Grupo 3 (G3)
<ul style="list-style-type: none"> · Lecturas · Presentaciones en Power Point · Cuestionarios, ejercicios y cuadros comparativos · Modelos en foamy · Mapas conceptuales 	<ul style="list-style-type: none"> · Lecturas · Presentaciones en Power Point · Cuestionarios, ejercicios, cuadros comparativos · Esquemas · Animaciones · Investigaciones 	<ul style="list-style-type: none"> · Lecturas · Presentaciones en Power Point · Animaciones y simuladores · Actividad experimental · Cuestionarios y ejercicios interactivos · Mapas conceptuales · Casos clínicos · Videos · Consultas en Internet

Cada estrategia se aplicó a un grupo diferente de estudiantes, quienes la trabajaron con su respectivo profesor de la siguiente forma: El G1 trabajó la estrategia I, diseñada con un uso limitado de recursos tecnológicos y medios de representación, por lo cual se llevó a cabo en un laboratorio que contaba con un pizarrón y mobiliario para que los alumnos trabajaran en parejas y tuvieran de frente al profesor, siendo ejemplo, de un curso típico o tradicional. Las actividades se desarrollaron mediante explicaciones verbales del profesor, lecturas y trabajos individuales, así como resolución de problemas en parejas y de manera grupal.

El G2 realizó la estrategia II, diseñada con un uso moderado de los recursos tecnológicos controlados por el profesor, por lo que se trabajó en un salón con pupitres individuales, pizarrón, proyector y la computadora personal del profesor. Las actividades se trabajaron mediante explicaciones del profesor a través de imágenes en Power Point y esquemas, se realizaron lecturas, trabajos de investigación y resolución de problemas por equipo y de manera grupal.

El G3 llevó a cabo la estrategia III, diseñada para emplear un mayor número y tipos de recursos tecnológicos, por lo que las clases se desarrollaron tanto en un salón (con pupitres

individuales, pizarrón, proyector y la computadora personal del profesor), como en uno de los nuevos laboratorios del bachillerato de la UNAM (que cuenta con mesas de trabajo para ocho equipos, cada uno con una computadora con Office, también están incluidos programas de simuladores, para la elaboración de mapas conceptuales con acceso a Internet, materiales necesarios para desarrollar prácticas experimentales). Durante el desarrollo de las actividades se emplearon simuladores, animaciones y esquemas como apoyo para la explicación de los temas, se realizaron lecturas apoyadas en imágenes, esquemas y analogías, se realizaron casos clínicos y se trabajó una actividad experimental, todas las actividades se trabajaron por equipos.

Muestra

Participaron 186 alumnos en la aplicación de las estrategias (17 - 19 años de edad), de sexto grado de bachillerato, del área II (químico-biológicas) y turno matutino, que cursaban la materia de Biología V. El total de estudiantes estuvo dividido de la siguiente forma: 60 del G1, 60 del G2 y 66 del G3. Los alumnos del G2 y G3 pertenecían a la ENP 5, mientras que los estudiantes del G1 a la ENP 7.

Para determinar las representaciones que los alumnos construyen después de haber trabajado la estrategia correspondiente, se diseñó una entrevista semiestructurada, que fue aplicada a 35 de los alumnos que participaron en las diferentes estrategias, y que aproximadamente representan el 20% de la muestra total. Así, se contó con 12 estudiantes del G3 (seis hombres y seis mujeres), 12 del G2 (seis hombres y seis mujeres) y 11 del G1 (cinco hombres y siete mujeres). La selección de los alumnos entrevistados fue tomando en cuenta su asistencia y su participación durante la aplicación de las estrategias, teniendo cuidado de que fueran hombres y mujeres en la misma proporción.

Instrumento de evaluación

Para conocer las representaciones de los alumnos después de haber trabajado el tema de Genética por medio de las tres estrategias, se desarrolló una entrevista semi-estructurada, que parte de una imagen sin ningún (representación gráfica sin texto de identificación) de las estructuras y niveles de organización del material genético, donde se solicita al entrevistado que describa lo que la representación le evoca y, conforme identifica las estructuras, que las describa. Las preguntas subsecuentes se enfocaron en que explicitara sus representaciones sobre los procesos y conceptos implicados en los mecanismos de la herencia donde, de acuerdo a las respuestas que va ofreciendo, se pueden abordar aspectos como: ciclo celular, mitosis, meiosis, herencia mendeliana y herencia no mendeliana. Durante la entrevista se solicitaron, además, descripciones, explicaciones e interpretaciones de los fenómenos o situaciones planteadas, y siempre que fuera posible, los acompañara con dibujos o esquemas. Por ejemplo, se solicitó al alumno que imaginara que a partir de la fecundación que se representa en el cuadro de Punnett se formó un bebé, que explicara cuál

sería su fenotipo, cómo estaría representada esa información, dónde la ubicaría y qué pasaría con esa información a lo largo de su vida.

Procedimiento

Cada uno de los grupos con su respectivo profesor trabajó una de las estrategias, lo que requirió siete sesiones de dos horas para completar las siete actividades. El periodo de aplicación comprendió del 15 de febrero al 17 de marzo de 2016.

Un mes después de concluir la aplicación de las estrategias, se realizaron las entrevistas individualizadas a la sub-muestra, contando con once alumnos del G1 y 12 tanto para el G2 como el G3, todas fueron videograbadas para su transcripción y análisis posterior. Las representaciones realizadas por los alumnos en hojas de papel durante la entrevista, también se digitalizaron para su análisis. El tiempo promedio de cada entrevista fue de 60 minutos.

Análisis de datos

Los datos obtenidos en las entrevistas se organizaron en siete subtemas, cada uno con su rúbrica de evaluación correspondiente, para identificar el nivel de representación y explicación que los alumnos alcanzaron en cada tema. En la tabla 2 se presentan los niveles considerados para la construcción de cada rúbrica.

Tabla 2. Niveles utilizados para generar la rúbrica de cada subtema de la entrevista

Nivel	Relación con el subtema que describe
0	No menciona ningún aspecto vinculado
1	Respuesta que muestra confusión al describir los aspectos básicos
2	Respuesta que describe y explica los aspectos básicos
3	Respuesta completa que ofrece la descripción, explicación y representación de todos los aspectos relevantes

El subtema 1 corresponde a los niveles de organización del material genético, incluyendo gen, ADN, cromosoma, bases nitrogenadas, alelos y célula. El subtema 2 considera aspectos del ciclo celular y se relaciona con el subtema 3 y 4, correspondientes a mitosis y meiosis. En el subtema 5 se consideró la descripción de un ejercicio mediante un cuadro de Punnett, el subtema 6 tomó en cuenta la posibilidad de relacionar los símbolos del cuadro de Punnett dentro de algún nivel de organización del material genético y con el proceso de meiosis. El subtema 7 analizó si los alumnos pueden reconocer algún mecanismo diferente a dominancia y recesividad (alelos múltiples, herencia ligada al sexo, codominancia).

Una vez construidas las rúbricas, se utilizaron para analizar y calificar las respuestas de los 35 sujetos entrevistados, tomando en cuenta las respuestas que dieron de forma oral, así como todas aquellas representaciones gráficas que utilizaron para realizar la explicación de algún aspecto abordado, por ejemplo, en el caso de niveles de organización se tomó en cuenta la descripción que el alumno realizó para cromosoma, cómo lo representó y dónde lo ubicó. En la tabla 3 se presenta, para cada subtema, el número de alumnos que se ubicó en cada nivel de la rúbrica.

Tabla 3. Subtemas considerados en la entrevista y número de alumnos de cada grupo que se ubicaron en los distintos niveles de la rúbrica de acuerdo a sus respuestas

Subtema	Grupo	Nivel / N° de alumnos
Niveles de organización del material genético	1	2
	2	
	3	
Ciclo celular	1	
	2	
	3	
Mitosis	1	
	2	
	3	
Meiosis	1	
	2	
	3	
Herencia mendeliana	1	2
	2	
	3	
Relación de símbolos con material genético y meiosis	1	0
	2	
	3	
Herencia no mendeliana	1	
	2	
	3	

Puede apreciarse que, de manera general, el G3 obtuvo mejores resultados en todos los subtemas, pues mayor número de alumnos se ubicaron en niveles más altos de las rúbricas y su promedio de respuestas fue de 2.4, mientras que los promedios de los grupos G1 y G2 fueron de 1.8 y 1.6, respectivamente. A continuación, se describen los alcances de los alumnos en los subtemas donde hubo diferencias más evidentes:

Con relación a los niveles de organización del material genético, ocho alumnos (cuatro de cada grupo) del G1 y G2 confundieron diferentes niveles, colocando a los cromosomas dentro de la secuencia de ADN, es decir, lograron reconocer las estructuras de la imagen, pero no distinguieron los niveles de organización; en cambio todos los alumnos del G3 reconocieron las estructuras implicadas y el nivel de organización correspondiente, identificando además, otros niveles como bases nitrogenadas, nucleótidos y alelos. La figura 1 muestra las respuestas de tres alumnos.

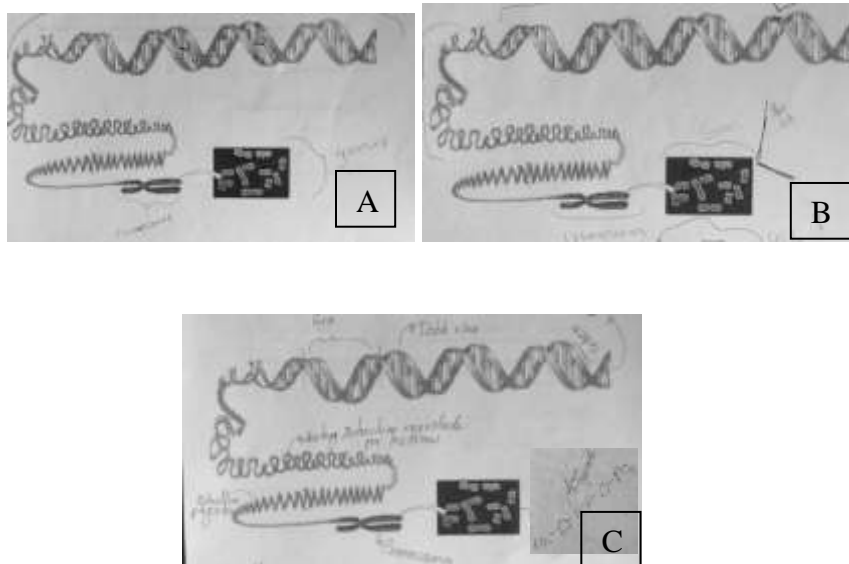


Figura 1. Ejemplo de las estructuras del material genético reconocidas (imagen A: alumno del G1 en el nivel 1; imagen B: alumno del G2 en el nivel 2; imagen C: alumno del G3 en el nivel 3).

El ciclo celular, fue uno de los aspectos que representó mayor dificultad para los alumnos, pues como se observa en la tabla 3, diez alumnos (cuatro del G1, seis del G2 y dos del G3) no lo mencionaron, 18 alumnos (seis de cada estrategia) respondieron en niveles 1 y 2, mientras que solamente un alumno del G1 y cuatro del G3 pudieron describirlo y representarlo en nivel 3 de la rúbrica. Por ejemplo, un alumno del G1, mencionó “*las células se dividen y al unirse entran a un ciclo celular*”, un alumno del G2 señaló “*las células pasan por un proceso de división celular que puede tomar dos vías, mitosis y meiosis*”); mientras que los alumnos del G1 y G3 que pudieron representarlo o describirlo lo realizaron como se observa en la figura 2.

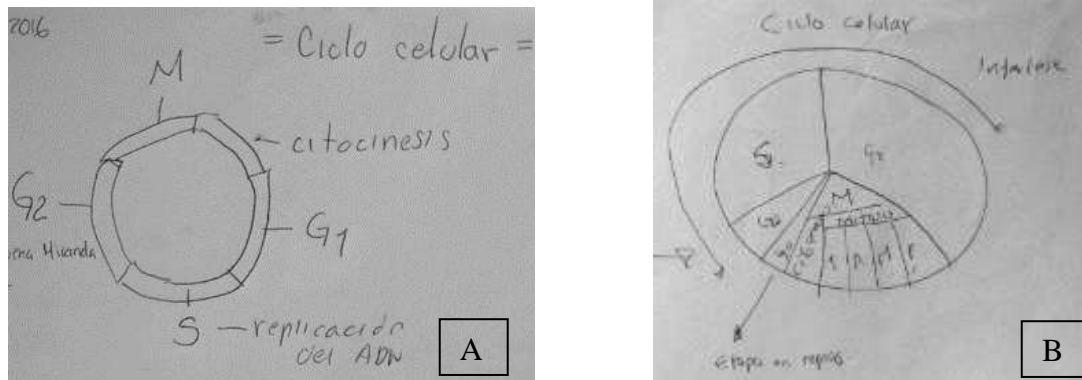


Figura 2. Esquemas de dos alumnos que realizaron para describir el ciclo celular y cada una de sus etapas (imagen A: alumno del G1; imagen B: alumno del G3).

En el subtema de meiosis y mitosis se observó que el 80% de cada uno de los grupos G1 y G3 se encuentra en los niveles 2 y 3, mientras que más del 50% de los alumnos del G2 se encuentran en los niveles 1 y 0. Se identificó que al igual que ciclo celular, éste fue uno de los subtemas que representó mayor dificultad para los alumnos del G2, pues solo dos de ellos pudieron hacer una representación y, aunque los alumnos del G1 realizaron algunas representaciones y descripciones, estas no alcanzaron el mismo nivel que en los alumnos del G3. Por ejemplo, los alumnos del G1 y G3 describieron los procesos mencionando las etapas, lo que ocurre en ellas y las diferencias en las células que se generan, sin embargo, los alumnos del G1 no pudieron representar todas las etapas y solo los alumnos del G3 las representaron en su totalidad y mencionaron porqué la información genética se organiza de esa forma.

Con respecto a herencia mendeliana, se observó que es un tema que todos los alumnos comprenden y pueden describir con o sin ayuda de un cuadro de Punnett, identificando los símbolos que representa, los posibles resultados, utilizar diversos ejemplos para su descripción y emplear terminología adecuada. Sin embargo, se observó que al solicitar que relacionaran los elementos del cuadro (letras que representan alelos) con los niveles de organización del material genético y con el proceso de meiosis (que indicaran si los alelos se encuentran juntos en un cromosoma), no todos los alumnos lo lograron, siendo los alumnos del G1 los que tuvieron más dificultades para hacerlo, pues no lograron ubicarlos en ningún nivel (seis alumnos) o mencionar que no existe ninguna relación entre los símbolos del cuadro y los niveles de organización (tres alumnos). Por su parte, los alumnos del G2 y del G3 reconocieron sin dificultades la relación que existe y ubicaron las letras en algún lugar específico de los niveles de organización, los alumnos del G3 fueron los que lograron relacionarlo también con el proceso de meiosis (diez alumnos). En la figura 3 se observan algunas relaciones entre los alelos (letras) y los niveles de organización dadas por los alumnos.

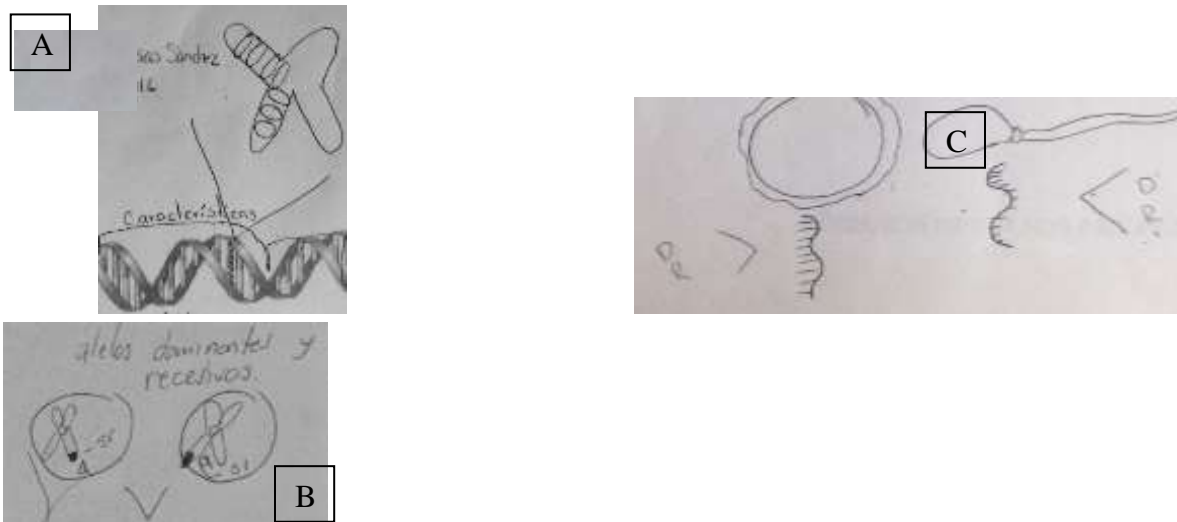


Figura 3. Representaciones de dos alumnos para ubicar las letras del cuadro de Punnett (imagen A alumno del G1 que representa los alelos como características que se encuentran dentro de la cadena de ADN en forma de cromosomas, imagen B: alumno del G2 que ubica a los alelos como una mitad de la cadena de ADN, imagen C: alumno del G3 que ubica a los alelos en cromosomas homólogos).

Finalmente, el subtema de herencia no mendeliana evidenció que solo los alumnos del G3 reconocen que existen mecanismos diferentes a la dominancia y recesividad para la herencia genética y siete de ellos pueden describir alguno de ellos, mientras que más del 80% de los alumnos tanto del G1 y como del G2 reconocen como único mecanismo la dominancia y recesividad.

CONCLUSIONES

Los resultados aquí descritos, dan cuenta de diferencias importantes en el nivel alcanzado en las representaciones de los alumnos cuando trabajan en un contexto multi-representacional, enriquecido con herramientas digitales y didácticas. Se identificó que los estudiantes del G3 dieron las mejores explicaciones que complementaron con el uso de representaciones externas; mientras que en los estudiantes del G1 y G2 se observó que, aunque su aproximación conceptual en términos descriptivos fue relativamente cercana a los del grupo G3, su uso de las representaciones es mucho más limitado y tienen dificultad para establecer relaciones entre los diversos aspectos que se preguntaron. Por ejemplo, aunque todos los alumnos lograron describir la herencia mendeliana, solo los alumnos del G3 y algunos del G2 pudieron relacionar los símbolos que se manejan en la nomenclatura del cuadro de Punnett con los niveles de organización del material genético y con el proceso de meiosis, ubicando dónde, cómo y por qué existe tal relación.

También se observó que las respuestas de los grupos G1 y G2 son cercanas entre sí, incluso se detectó que, en subtemas como ciclo celular, mitosis y meiosis el G1 obtuvo niveles más altos que el G2, a pesar de que tuvo una mayor limitación en el manejo de la tecnología y otros recursos didácticos.

Estos resultados sugieren que el uso de la tecnología y el manejo de los recursos debe ir siempre acompañado de otras herramientas como preguntas, analogías, actividades experimentales y resolución de problemas que permitan a los alumnos representar los fenómenos de diferentes maneras que les permiten reflexionar sobre los procesos o relaciones que intervienen en determinada situación.

Así, este trabajo aporta elementos necesarios que muestran la importancia de la incorporación en el aula de diversas formas de representación de los fenómenos mediante herramientas tecnológicas digitales, ya que dan alternativas a los profesores para representar las situaciones de aprendizaje planteadas de distintas formas en las que los alumnos estén inmersos en ambientes multi-representacionales que les ayuden a lograr explicaciones más precisas, completas y complejas. También es necesario mencionar la importancia de promover el explicitación de las representaciones de los alumnos en distintos lenguajes (gráficos, verbales, por ejemplo) para conocer cómo están comprendiendo el tema y las relaciones, lo que se va más allá de una descripción de los términos conceptuales que, en la mayoría de las veces, puede ser memorística y no siempre muestra la comprensión de los estudiantes.



NOTAS

Esta investigación forma parte del proyecto “Procesos de transformación de las representaciones científicas en los estudiantes del bachillerato bajo un entorno multi-representacional apoyado con tecnologías digitales”, con clave: 238712 financiado por Conacyt.

Los autores agradecen su apoyo a los profesores y alumnos que participaron en la aplicación de las estrategias didácticas, así como a los alumnos que participaron en las entrevistas.

REFERENCIAS

- 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, (pp. 3-25) 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*, (pp. 1-37) Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers.
- Flores, C. 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.
- 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*, (121-146) Netherlands: Springer.
- Pozo, J. I. (2015). Aprendizaje de la ciencia mediante múltiples sistemas de representación. En F. Flores (Coord.) *Las tecnologías digitales en la enseñanza experimental de las ciencias, fundamentos cognitivos y procesos*, (pp. 13-31) México: UNAM-Porrúa.
- Tytler, R., & Prain, V. (2010). A framework for re-thinking learning in science from recent cognitive science perspectives. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2055-2078.