



## REPRESENTACIONES EXTERNAS COMO APOYO EN LA COMPRESIÓN DE LA GENÉTICA EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO

**Beatriz García Rivera**

ICAT-UNAM Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

**Fernando Flores Camacho**

ICAT-UNAM Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

**Leticia Gallegos Cázares**

ICAT-UNAM Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

---

**Área temática:** 06. Educación en campos disciplinares.

**Línea temática:** 4. El papel de las tecnologías en los procesos educativos, en el marco de los saberes específicos de un campo de conocimiento disciplinar.

**Tipo de ponencia:** Reporte parcial de investigación.

---

### **Resumen:**

Este trabajo da cuenta del logro conceptual en genética que alcanzan los alumnos de bachillerato cuando trabajan con el apoyo de representaciones externas. Se aplicaron tres secuencias didácticas, con los mismos objetivos conceptuales y número de actividades, que diferían en el tipo y uso de representaciones. Se diseñó, validó y aplicó un cuestionario para identificar la comprensión conceptual y representacional del tema. Para calificar cada ítem, se construyó una rúbrica y se aplicó la prueba de ANOVA. Los resultados muestran que los alumnos que utilizaron más representaciones externas alcanzaron los promedios más altos, formularon explicaciones escritas más completas y sus representaciones simbólicas y gráficas fueron también más completas y precisas. Las tres estrategias apoyaron la comprensión conceptual, pero fue evidente que apoyarla con el uso de representaciones, incrementa la comprensión en los subtemas de células somáticas, células sexuales, mecanismos de herencia y alteraciones genéticas.

**Palabras clave:** Representaciones, Bachillerato, Genética, Aprendizaje, Didáctica.

## Introducción

Aprender genética es relevante para los estudiantes de bachillerato porque les proporciona elementos indispensables en su formación científica básica y en la toma de decisiones informadas sobre su persona, la sociedad y el ambiente.

Su importancia se muestra en investigaciones previas, que han considerado distintos niveles educativos y enfoques y que destacan las dificultades para comprender los procesos y conceptos de genética (Caballero, 2008; Figini y De Micheli, 2005, entre muchos más).

Por otra parte, la investigación sobre el aprendizaje, plantea nuevos enfoques que no se centran en la enseñanza de conceptos, sino en la importancia de la construcción e interpretación que los sujetos hacen de las representaciones, y cómo con ellas, generan explicaciones de los fenómenos que observan y se enseñan en la escuela (Gilbert, 2008).

De acuerdo con la idea de que los sujetos generan representaciones mentales con las que interpretan e interactúan con el mundo, se han desarrollado propuestas que contemplan el uso de múltiples representaciones externas para el aprendizaje. Tal es el caso de este trabajo, que planteó el problema de analizar cómo inciden las representaciones externas en los logros de aprendizaje conceptual de los alumnos, cuando éstas se incorporan en secuencias didácticas que comparten una misma trayectoria conceptual, pero difieren en el uso y cantidad de representaciones externas.

Nuestra hipótesis es que, si los alumnos abordan el tema de genética apoyados por diversas representaciones externas, utilizadas como herramientas epistémicas y cognitivas, lograrán un mayor logro conceptual.

El objetivo propuesto fue identificar si el uso de las representaciones externas en un proceso didáctico, donde el alumno las usa, construye, reconstruye y explicita, contribuye a una mejor comprensión de la genética.

## Desarrollo

### Dificultades conceptuales para comprender la genética

La genética es uno de los temas más tratados en la didáctica de la biología, pues es básico para entender otros aspectos centrales como los mecanismos de evolución, la variabilidad de especies, o la síntesis de proteínas (Garvin y Stefani, 1993).

Su abordaje conlleva dificultades para los estudiantes, como son:

1. Comprender la organización jerárquica de la información genética, que implica transitar entre niveles que representen procesos macro y microscópicos (Marbach-Ad & Stavy, 2000). Los estudiantes confunden o no reconocen esos niveles, su estructura y ubicación. Por ejemplo, consideran a los genes como estructuras más grandes que los cromosomas (Caballero, 2008).

2. Los fenómenos y procesos implicados no son evidentes (Kapteijn, 1990), por lo que son comunes las descripciones y analogías incorrectas e identificar solo aspectos macroscópicos, donde, por ejemplo, consideran que fenotipo y genotipo actúan al mismo nivel.
3. Es necesario reconocer, comprender e integrar tres modelos conceptuales: genético, meiótico y molecular (Stewart, Cartier y Passmore, 2005). Para ello, los alumnos deberían relacionar la meiosis con la formación de los gametos, o resolver problemas de genética referidos a la transmisión y expresión de caracteres (Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000).
4. Como consecuencia de los tres puntos anteriores, la enseñanza de la genética se ha centrado en el determinismo del fenotipo a partir del genotipo, en una explicación direccional y desvinculada de las ideas inherentes a la genética moderna (Clément y Castéra, 2013).

### **Representaciones externas como herramientas cognitivas**

Las representaciones externas comprenden todo elemento icónico o simbólico con el que se denota lo representado. Para diSessa (2002) son el pilar del pensamiento externo al sujeto, pues permiten analizar y entender la fenomenología representada. Son relevantes en el aprendizaje porque favorecen el análisis mediante el razonamiento y elaboración de inferencias a partir de alguna de sus formas de expresión. Por ejemplo, la representación gráfica de un cromosoma o las simulaciones que muestran su formación a partir de la condensación del ADN, posibilitan inferencias y razonamientos, determinados por su estructura y función representacional.

Las representaciones externas contribuyen a la dimensión epistemológica del aprendizaje, que involucra dos aspectos: los epistémicos, donde la construcción de modelos y variables de las representaciones funcionan como elementos constrictores de los procesos cognitivos de los sujetos; los semánticas, donde se dota de significado a símbolos y herramientas simbólicas (símbolos, imágenes, esquemas, gráficos y dibujos). Las herramientas simbólicas son importantes en la construcción de las propias representaciones de los sujetos, ya que sirven para mostrar procesos, mecanismos y estructuras que no se pueden observar directamente, lo cual puede ayudar a la comprensión y construcción conceptual (Prain y Tytler, 2012).

Otero, Moreira y Greca (2002) señalan que las representaciones externas también son centrales en la comunicación de las ideas y deben utilizarse para favorecer la comprensión. En biología, particularmente en genética, es común que los profesores usen representaciones externas (Diez de Tancredi y Caballero, 2004), debido al tipo de contenidos abstractos y los diferentes niveles (macro y micro) implicados. Sin embargo, su uso no considera el papel que pudieran tener en el aprendizaje. Lo anterior implica que se debe promover explícitamente el uso de representaciones externas como herramientas cognitivas que faciliten la comprensión.

De acuerdo con estas investigaciones, se desarrolló la propuesta que se presenta a continuación, junto con el proceso de intervención realizado.

## Proceso de intervención

### Construcción y estructura de las secuencias didácticas

Para conocer las implicaciones de las representaciones externas en la comprensión de los conceptos y representaciones de la genética de los estudiantes, se elaboraron tres secuencias didácticas diferentes en el tipo y cantidad de representaciones utilizadas.

Las secuencias comparten una estructura básica en cuanto al entramado conceptual: niveles de organización celular y de la información genética; ciclo celular; mitosis y meiosis; herencia mendeliana; herencia por alelos múltiples; alteraciones cromosómicas, génicas o puntuales. Para cada secuencia se diseñaron seis actividades (figura 1).

**Figura 1:** Actividades y objetivos conceptuales de las secuencias didácticas.

<b>Actividad</b>	<b>Objetivo conceptual</b>
<b>1. Niveles de organización de la información genética</b>	Identificar y comprender los niveles de organización, cómo se representan, y diferenciar la información correspondiente al genotipo y fenotipo.
<b>2. Ciclo celular</b>	Reconocer que las células tienen un ciclo donde están implicados distintos niveles de organización. Identificar las fases del ciclo, y distinguir qué ocurre con la información genética durante el proceso.
<b>3. Mitosis y meiosis</b>	Realizar conexiones entre ciclo celular y los procesos de mitosis y meiosis, reconociendo y diferenciando cada uno.
<b>4. Herencia mendeliana</b>	Comprender la herencia mendeliana, identificando alelos dominantes y recesivos, genotipo y fenotipo. Resolución de ejercicios con cuadros de Punnett.
<b>5. Herencia de alelos múltiples</b>	Analizar la herencia del tipo sanguíneo ABO como un ejemplo de mecanismos distintos a la herencia mendeliana.
<b>6. Alteraciones cromosómicas, génicas o puntuales</b>	Conocer las alteraciones del material genético, en qué niveles se presentan, así como las implicaciones que conllevan.

La estructura didáctica de las tres secuencias considera seis fases de trabajo (Gallegos y Flores, 2011). La figura 2 describe la actividad 5 de las tres secuencias, como ejemplo de la estructura y organización de las actividades y de la incorporación diferenciada de los recursos representacionales. En esta actividad, las secuencias abordan el mecanismo de herencia por alelos múltiples, pero utilizaron distintos recursos representacionales.

Figura 2: Comparación de los recursos representacionales y didácticos utilizados en las diferentes fases de la quinta actividad de las tres secuencias desarrolladas.

<b>Actividad 5. Herencia de alelos múltiples. Identificar que en una población pueden existir más de dos alelos para una característica; reconocer otros mecanismos de herencia como la dominancia incompleta y la codominancia; mecanismo que se analiza mediante la herencia del tipo sanguíneo ABO en humanos.</b>			
<b>Fase</b>	<b>Secuencia I</b>	<b>Secuencia II</b>	<b>Secuencia III</b>
<b>1. Introducción al contexto: Aproximar a los alumnos al tema y su importancia</b>	En grupo revisan extracto de libro de genética, sin imágenes, con ejemplos de mecanismos distintos a herencia mendeliana.	Profesor presenta al grupo, verbalmente, estudio de caso sobre paternidad, que involucra herencia del tipo sanguíneo ABO.	Profesor presenta al grupo, verbalmente, estudio de caso sobre paternidad, que involucra herencia del tipo sanguíneo ABO; se comenta en plenaria.
<b>2. Indagación de ideas: Conocer las ideas de los alumnos</b>	En plenaria guiada por profesor, responden preguntas para identificar ideas de los alumnos sobre los alelos múltiples.	En plenaria guiada por profesor, responden preguntas del caso; cada alumno responde preguntas de mecanismo de alelos múltiples.	Profesor plantea otras preguntas sobre el caso y los alumnos las resuelven individualmente.
<b>3. Desarrollo: Abordar los conceptos centrales del tema mediante tareas diversas.</b>	En equipo, resuelven ejercicios con cuadros de Punnett, con alelos representados por letras; profesor recupera, en plenaria, resultados de equipos y con preguntas guía explica herencia de tipo sanguíneo.	Profesor explica al grupo mecanismo de herencia por alelos múltiples, con cuadro de Punnett dibujado en pizarrón, resalta combinaciones de alelos representados con letras; los alumnos, individualmente, responden preguntas relacionadas con explicación del profesor.	En equipo, lectura de extracto de libro de genética y revisión de animación, ambas con imágenes que representan eritrocitos con antígenos, anticuerpos, letras como alelos, genotipos y fenotipos; la animación también muestra gametos, cromosomas y alelos, y permite hacer combinaciones para determinar herencia en otras generaciones; lectura individual de conceptos básicos sobre estudios de paternidad, y resolución de preguntas sobre el tema.
<b>4. Análisis de resultados: Identificar las nuevas ideas y resultados alcanzados en la fase Desarrollo.</b>	En equipo, resuelven ejercicios de cuadros de Punnett para determinar fenotipos de la descendencia de determinados genotipos.	Lectura individual de texto con imágenes que representan células sanguíneas con antígenos, anticuerpos, letras que representan alelos, genotipos y fenotipos; responden preguntas sobre la lectura.	En equipo, retoman estudio de caso de inicio de la actividad y lo resuelven, junto con preguntas relacionadas; se revisa en plenaria guiada por profesor.
<b>5. Construcción de explicaciones: Conocer las explicaciones que han generado los alumnos hasta el momento.</b>	De manera individual, los alumnos responden preguntas que integran los aspectos revisados en clase.	En plenaria guiada por profesor, revisan respuestas sobre lectura anterior; en grupo leen texto de otro ejemplo de herencia por alelos múltiples, con imágenes de los posibles fenotipos; responden preguntas relacionadas.	En plenaria guiada por profesor, revisan respuestas al ejercicio anterior; comparan y analizan resultados; cada alumno elabora un esquema que describe herencia por alelos múltiples.
<b>6. Conclusiones: Identificar los avances conceptuales de los alumnos</b>	Cada alumno incluye en glosario, iniciado en primera actividad, los términos trabajados en esta sesión; describe diferencias entre mecanismos de herencia revisados.	Cada alumno elabora mapa conceptual que describa el mecanismo de herencia por alelos múltiples.	Discusión en plenaria, guiada por profesor, para integrar trabajo de la sesión; cada alumno incorpora mecanismo de herencia por alelos múltiples a mapa conceptual que ha desarrollado a lo largo de la secuencia didáctica.

El ejemplo mostrado ayuda a identificar que la secuencia I se diseñó como una clase tradicional, con lecturas, cuestionarios, ejercicios en el pizarrón o en el cuaderno, un mapa conceptual y explicaciones del profesor; la secuencia II incorporó más recursos, como lecturas con más imágenes, cuadros comparativos, organizadores gráficos y explicaciones del profesor; la secuencia III tuvo más elementos representacionales,

como lecturas con imágenes, animación, mapa conceptual, resolución de problemas. Las demás actividades de cada secuencia siguieron el mismo patrón, e implicaron el uso de distintos recursos, guardando siempre la relación entre el uso diferenciado de las representaciones externas.

### **Aplicación en aula**

Participaron tres profesores que imparten la asignatura de Biología V en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cada profesor fue responsable de implementar una sola secuencia, con su respectivo grupo (Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3), en seis sesiones de dos horas para completar las seis actividades (ver tabla 1). El periodo de aplicación fue de un mes.

El Grupo 1 (G1) trabajó la Secuencia I en un laboratorio con pizarrón y mobiliario para trabajar en parejas, teniendo de frente el espacio del profesor. El Grupo 2 (G2) abordó la Secuencia II, en un salón con pupitres individuales, pizarrón, y proyector conectado a la computadora del profesor. El Grupo 3 (G3) aplicó la Secuencia III, tanto en un salón (con pupitres individuales, pizarrón, proyector conectado a la computadora del profesor), como en uno de los nuevos laboratorios del bachillerato de la UNAM (con una computadora por equipo, acceso a Internet, diversos recursos digitales y materiales para desarrollar prácticas).

## **Metodología**

### **Muestra**

Participaron 186 alumnos, entre 17 y 19 años de edad. Todos cursaban la materia de Biología V del sexto grado de bachillerato, área II (químico-biológicas), turno matutino. La muestra se dividió de la siguiente forma: G1, 60 alumnos (45 mujeres y 15 hombres); G2, 60 alumnos (46 mujeres y 14 hombres), y G3, 66 alumnos (50 mujeres y 16 hombres). G2 y G3 pertenecían al plantel 5 y G1 al plantel 7.

### **Instrumento**

Para conocer el logro conceptual de los alumnos, se diseñó y validó ( $\alpha$  de Cronbach = 0.88,  $p \leq 0.005$ ) un cuestionario con 18 ítems, que los alumnos respondieron una semana después concluida la aplicación de las secuencias.

El instrumento 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 las situaciones planteadas, así como la construcción de representaciones mediante dibujos y esquemas de procesos y estructuras genéticas, que implicaron demandas conceptuales y representacionales sobre los niveles de organización de la información genética en diferentes tipos celulares, 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. Los aspectos conceptuales y de representación gráfica de cada ítem se muestran en la figura 3.

Figura 3: Estructura de los ítems del instrumento.

Ítem	Estructura del ítem
1	Solicita descripción escrita de porqué se expresan determinadas características en un bebé humano.
2	Solicita se indique y justifique dónde se encuentra la información que se hereda. Incluye incisos para seleccionar y luego justificar la selección.
3, 4	Solicitan representación gráfica de cómo se organiza la información genética dentro de las células sexuales (espermatozoide y óvulo).
5	Indaga si considera diferencias en la información genética de todas las células del cuerpo.
6	Solicita que por medio de representaciones gráficas se describa la información genética de una célula somática y una sexual.
7, 8, 9, 10	Demandan explicaciones sobre cómo se hereda una característica (lóbulo de los oídos) a partir de un determinado fenotipo de padres y abuelos del caso hipotético, sobre lo que se responde a lo largo de los ítems: El ítem 7 solicita representaciones gráficas que describan cómo se encuentra la información genética en el óvulo y en el espermatozoide de los padres. El ítem 8 solicita representación gráfica que muestre la información genética de las células del bebé de la pareja hipotética. El ítem 9 solicita se indique localización de la información genética para la expresión de una determinada característica (en el ejemplo, los lóbulos de la oreja). El ítem 10 solicita las probabilidades de expresión de un determinado fenotipo en la progenie a partir de los genotipos paternos.
11, 12	Demandan las probabilidades de expresión del tipo sanguíneo, utilizando el mecanismo de alelos múltiples, así como definir si esta característica tiene relación con la herencia de otras.
13, 14	El ítem 13 pide descripción y representación gráfica del síndrome de Down; el ítem 14 indaga si se reconoce influencia entre el sexo del progenitor y la herencia del síndrome de Down.
15, 16	El ítem 15 solicita se indique qué tan posible es que distintos factores influyan en que se presente una alteración genética en la descendencia; mientras que el ítem 16 pide descripción y representación de una alteración genética.
17	Solicita explicación del porqué existe variabilidad genética entre hermanos.
18	Conformado por siete incisos, demanda representación y ubicación de las estructuras en que se organiza la información genética, así como de los gametos y las células somáticas.

Para determinar el nivel de Integración de Conocimiento alcanzado en las respuestas de cada ítem, se elaboró una rúbrica, basada en Wilson (2005) con una escala del 0 al 5, que se validó con el modelo de Crédito Parcial de Rasch (programa Winstep). La figura 4 muestra los criterios generales para asignar los niveles. Los aspectos referentes al cuestionario, su descripción detallada y validación, pueden consultarse en Flores y colaboradores (2017).

Figura 4: Criterios para la elaboración de Rúbricas.

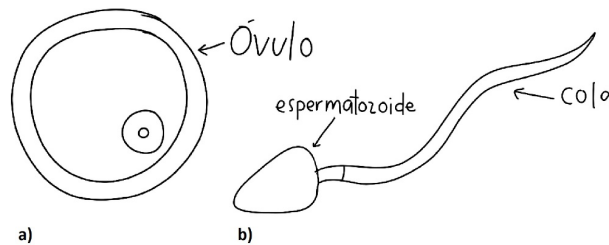
Niveles de Integración de Conocimiento	Nivel y características de las respuestas a los ítems
<b>Vínculos complejos</b>	5. Explicita tres o más conceptos e ideas relevantes y elabora dos o más vínculos válidos entre ellas
<b>Vínculos totales</b>	4. Explicita al menos dos conceptos e ideas relevantes y elabora un vínculo válido entre dos ideas.
<b>Vínculos parciales</b>	3. Explicita ideas o conceptos relevantes, pero no elabora adecuadamente vínculos entre ellos.
<b>No hay Vínculos Irrelevante</b>	2. Explicita ideas no precisas y no relacionadas
<b>No hay información</b>	1. Contiene ideas irrelevantes al contexto científico
	0. No hay respuesta al ítem

Fuente: Adaptado de Wilson (2005).

Como ejemplo, se muestran las respuestas y su valoración para los ítems 3 y 4, que implican respuestas relacionadas.

Nivel 1. No menciona que espermatozoide y óvulo son células sexuales, aunque dibuja su estructura externa. No relaciona conceptos ni representaciones con ningún nivel de organización de la información genética. No refiere qué información genética aportan para la formación de un nuevo ser (figura 5a y b).

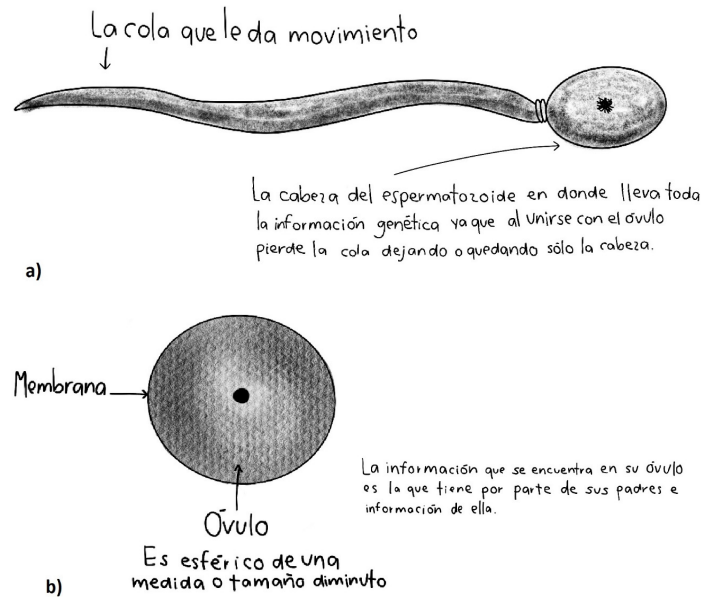
Figura 5: Alumno G1: Representación de los gametos en nivel 1. No distingue si hay información genética y cómo se organiza en óvulo (a) y espermatozoide (b).



Nivel 2. Reconoce que espermatozoide y óvulo son células sexuales y puede representar sus características generales, no detalla cómo se organiza la información genética, ni cómo estas dan la formación de un nuevo ser (figura 6a y b).



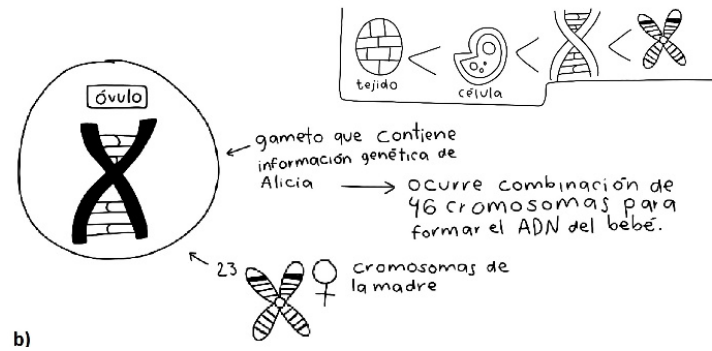
**Figura 6:** Alumno G1: Representación de los gametos en nivel 2. Dibuja cómo son espermatozoide (a) y óvulo (b), menciona que tienen información genética.



Nivel 3. Reconoce que espermatozoide y óvulo son células sexuales con información genética, representa un solo nivel de organización (con las siglas ADN, cromatina como hebras, cromosomas sexuales o alelos en forma de letras). Menciona que se encargan de aportar la información para la formación de un nuevo ser (figura 7a y b).

**Figura 7:** Alumno G2: Representación de los gametos en nivel 3, espermatozoide (a) y óvulo (b). Muestra información genética como cromosomas, de los que cada progenitor aporta 23; dibuja cómo son las células sexuales y menciona que tienen información genética.

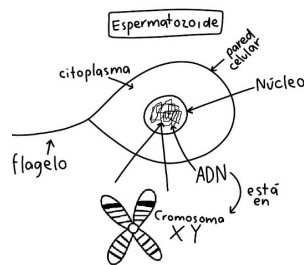




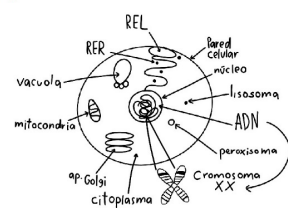
b)

Nivel 4. Además de lo descrito en el nivel 3, indica que óvulo y espermatozoide participan en la fecundación y formación de un nuevo ser que aportan información genética de cada padre. Reconoce en ellos el cromosoma sexual, que simboliza como XX o XY, pero no indica cuántos cromosomas tienen en total (figura 8a y b).

**Figura 8. Alumno G3:** Representación de los gametos, espermatozoide (a) y óvulo (b), nivel 4. La información genética se presenta como doble cadena de ADN y cromosomas; señala que los cromosomas de cada padre se unen para heredarlos al bebé.



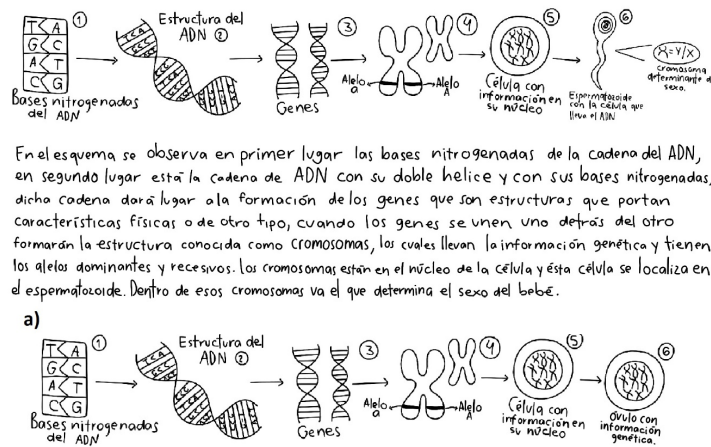
a)



b)

Nivel 5. Además de lo descrito en los niveles 3 y 4, en óvulo y espermatozoide representa nucleótidos y bases nitrogenadas; describe la aportación de información genética de los padres por el proceso de meiosis; menciona que los gametos son haploides y tienen un cromosoma sexual además de otros cromosomas no sexuales; explicita que hay genes (o alelos) dominantes y recesivos para cada característica (figura 9a y b).

**Figura 9 Alumno G3:** Representación de los gametos, espermatozoide (a) y óvulo (b), nivel 5. Describe la información genética en distintos niveles de organización: nucleótidos, cadena de ADN, gen, cromosomas sexuales y autosomas.



En el esquema se observa en primer lugar las bases nitrogenadas de la cadena del ADN, en segundo lugar está la cadena de ADN con su doble hélice y con sus bases nitrogenadas, dicha cadena dará lugar a la formación de los genes que son estructuras que portan características físicas o de otro tipo, cuando los genes se unen uno detrás del otro formarán la estructura conocida como **CROMOSOMAS**, los cuales llevan la información genética y tienen los alelos dominantes y recesivos. Los cromosomas están en el núcleo de la célula y ésta célula se localiza en el espermatozoide. Dentro de esos cromosomas va el que determina el sexo del bebé.

En primer lugar están las bases nitrogenadas de la cadena de ADN las cuales contribuyen a formar su estructura que es la de una escalera retorcida de doble hélice que va de dirección 5'—3'. La cadena de ADN dará paso a los genes que son la unidad de almacenamiento genético donde se almacenan las características físicas o de otro tipo como las del genotipo, la unión o pila de uno detrás del otro da paso a los cromosomas que son las estructuras que funcionarán como material en la fecundación para mezclar la información. Los cromosomas tienen alelos dominantes que se expresan genotípicamente y recesivos parte del genotipo. Posteriormente los cromosomas serán parte del núcleo de la célula la cual estará dentro del óvulo y donará mitocondrios al nuevo ser.

## Resultados

Los resultados de los cuestionarios calificados con los niveles descritos para cada ítem muestran diferencias significativas entre los tres grupos (ANOVA - *Statistical Package for the Social Sciences* [SPSS]), con valores de *F* entre 7.03 (ítem 2) y 56.66 (ítem 11),  $p < 0.05$ . Los valores por ítem se muestran en la figura 10.

**Figura 10:** Análisis de varianza de los resultados por grupo para cada ítem.

Ítem	G1		G2		G3		F	Sig.
	Media	DS	Media	DS	Media	DS		
1	2.6	0.643	3.17	0.642	3.15	0.769	13.319	0
2	3.38	0.946	3.13	0.676	3.7	0.976	7.029	0.001
3	2.6	1.108	2.7	1.319	3.5	0.749	13.439	0
4	2.4	1.167	2.77	1.198	3.5	0.749	18.067	0
5	2.8	0.84	2.35	1.022	3.89	0.897	47.159	0
6	2.2	1.07	2.32	1	3.35	0.813	27.527	0
7	2.2	1.102	2.95	1.431	3.48	0.965	18.856	0
8	2.13	1.016	2.67	1.537	3.53	0.728	24.535	0
9	2.62	1.195	2.53	1.255	3.65	1.102	17.705	0
10	3.08	0.381	2.98	1.017	3.76	0.766	19.232	0
11	2.52	0.676	2.63	1.073	4.08	0.966	56.658	0
12	2.95	0.811	2.37	0.938	3.5	0.789	28.138	0
13	3.08	0.381	3.28	1.027	4.08	0.535	35.942	0
14	3.27	0.936	2.7	0.926	3.76	0.86	21.382	0
15	3.32	0.725	3.12	0.761	3.64	0.694	8.255	0
16	2.62	0.761	3.05	0.429	3.65	0.69	41.09	0
17	2.47	0.892	2.28	0.94	3.41	0.679	32.994	0
18	3.33	1.13	3.87	0.623	4.74	0.474	51.961	0

De acuerdo con la figura 10, el G3 alcanzó los valores de medias más altos en todos los casos. La mayor distancia entre las medias ( $m = 4.08 \sigma=0.966$  para G3,  $m = 2.63 \sigma=1.073$  para G2 y  $m = 2.52 \sigma=0.676$  para G1) se presentó en el ítem 11 ( $F = 56.66$ ), donde los alumnos del G3 identificaron que la herencia del tipo sanguíneo es resultado del mecanismo de alelos múltiples y explicaron por qué la descendencia puede presentar un tipo de sangre diferente al de los padres; en G2 y G1 no describieron ningún mecanismo o solo hacían referencia a genes dominantes y recesivos. La menor diferencia corresponde al ítem 2 ( $m = 3.38 \sigma=0.846$  para G1,  $m = 3.13 \sigma=0.676$  para G2 y  $m = 3.7 \sigma=0.976$  para G3;  $F = 7.03$ ), en el que los alumnos, de manera general, identificaron que la información que los padres heredan está en los gametos, pero sin explicar el proceso. Solo en el ítem 1, el G3 obtuvo una media ligeramente menor que el G2 ( $m = 3.15 \sigma=0.769$ , para G3;  $m = 3.17 \sigma=0.642$ , para G2;  $m = 2.6 \sigma=0.643$  para G1;  $F = 13.32$ ), que refleja que los estudiantes de ambos grupos alcanzan un nivel semejante, al describir que un bebé expresa ciertas características de sus padres porque cada uno de ellos aporta información genética que se combina, y mencionan algún mecanismo de herencia. El G1 respondió en forma menos precisa, empleando términos sin explicarlos.

En el ítem 18, el G3 presentó la media más alta ( $m = 4.74 \sigma=0.474$ ), pues los alumnos representaron gráficamente las distintas estructuras en que se organiza la información genética y distinguieron células sexuales y somáticas; los estudiantes del G2 y G1 representaron gráficamente las estructuras o las células, pero no las ubicaron correctamente.

## Análisis y discusión

Los resultados muestran que los estudiantes del G3, quienes estuvieron en un proceso de enseñanza más enriquecido con diversas representaciones externas, alcanzan niveles de respuesta mayores que los otros dos grupos, de los cuales resulta menos favorecido el que tuvo un proceso de enseñanza más tradicional.

Para analizar más integralmente los logros conceptuales y representacionales de los alumnos, los resultados se han organizado en cuatro subtemas, que cubren los aspectos marcados en las secuencias y el cuestionario. Los subtemas y sus ítems correspondientes son: Gametos (ítems 2, 3, 4, 7); Células somáticas (ítems 5, 6, 8, 9); Mecanismos de herencia y expresión de características (1, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 17); Alteraciones genéticas (ítems 13, 14, 15, 16). Para cada subtema se determinó la media alcanzada por ítem y el nivel alcanzado en la rúbrica. Esto permitió definir, para cada grupo, la media por subtema y el porcentaje de alumnos correspondiente. Los alumnos se ubicaron en dos intervalos: los que alcanzaron los niveles 0 a 2 y los que alcanzaron los niveles 3 a 5 en la rúbrica.

La figura 11 muestra que en el G3 se obtienen las medias más altas y los mayores porcentajes de alumnos en los niveles más altos (91% – 97%). Esto significa que esos alumnos establecieron más relaciones entre los elementos conceptuales y representacionales de cada subtema y alcanzaron mayor Integración de Conocimiento que, como se mencionó, implica elaborar mejores explicaciones. En G2 y G1 también hay alumnos con niveles altos, pero en menor porcentaje.

Figura 11: Nivel de logro conceptual alcanzado por los alumnos en cada subtema.

Subtema	G1			G2			G3		
	Media	% Niveles 0-2	% Niveles 3-5	Media	% Niveles 0-2	% Niveles 3-5	Media	% Niveles 0-2	% Niveles 3-5
<b>Gametos</b>	2.6	37	63	2.8	28	72	3.5	9	91
<b>Células somáticas</b>	2.6	43	57	2.7	36	64	3.7	7	93
<b>Mecanismos de herencia</b>	2.5	36	64	2.7	34	68	3.5	9	91
<b>Alteraciones genéticas</b>	3	16	84	3	18	82	3.7	3	97

Al comparar las respuestas, se aprecia el tipo de conexiones que establecen en cada subtema y cómo esto, les permite alcanzar mayor comprensión e integración. Un ejemplo es el subtema de Gametos. Las figuras 5 a 9 sirven para ilustrar la comprensión del subtema de acuerdo con los niveles de la rúbrica que alcanzan los alumnos.

En las representaciones gráficas, descripciones y explicaciones del nivel 3 al 5 (ver figuras 7, 8 y 9) se nota que los alumnos logran mayor completud e integración, al representar la información genética de los gametos en distintos niveles de organización, reconocer que los gametos son células especializadas para la reproducción, formados por meiosis, con la mitad de la carga genética del individuo y que, al ser células haploides, presentan un cromosoma homólogo de cada par y llevan otros cromosomas además del sexual.

En síntesis, se puede establecer que los distintos formatos representacionales trabajados por los alumnos del G3, facilitaron la resolución del cuestionario, ya que las respuestas escritas y las representaciones gráficas que generaron alcanzaron niveles de respuesta más altos.

## Conclusiones

Al comparar los logros conceptuales de los alumnos que trabajaron el tema de genética en diferentes condiciones respecto al uso de representaciones externas, se fortalece la postura de diversos autores, que destacan la influencia de las representaciones para comprender, interpretar, construir e integrar los conceptos.

Los resultados obtenidos muestran que, de manera general, contar con mayor uso y diversidad de representaciones externas, genera condiciones para visualizar, interpretar, comparar y conectar, explícitamente, aquellos aspectos representacionales que apoyan la comprensión de la jerarquía entre los distintos niveles de organización de la información genética, y la posibilidad de transitar entre los niveles representacionales macro y microscópico, así como la forma en que dicha información participa en los diferentes procesos y mecanismos de herencia y expresión de caracteres.

Si bien, en los tres procesos de intervención los alumnos alcanzaron logros conceptuales en ciertos temas, como el caso de los mecanismos de herencia y las alteraciones genéticas, los estudiantes que usaron menos recursos representacionales presentaron desventajas, lo que se refleja en incongruencias y errores en algunas de sus respuestas, resolvieron problemas de herencia mecánicamente, sin comprender los mecanismos implicados, lo que refleja un determinismo entre genotipo y fenotipo, dificultad señalada por autores como Clément y Castéra (2013).

Finalmente, este trabajo constituye una descripción aún muy general de las posibles ventajas de organizar las actividades del aula con el apoyo de múltiples representaciones externas. Se requieren análisis más finos que ayuden a identificar, por ejemplo, qué representaciones presentan más ventajas, qué conjunto de representaciones y su orden de presentación sería más conveniente, entre otras interrogantes a investigar, para contribuir al establecimiento de apoyos que favorezcan un mayor logro conceptual.

Agradecimientos. Este trabajo fue apoyado por Conacyt, con el proyecto 238712.

## Referencias

- Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-243.
- Clément, P. & Castéra J. (2013). Multiple Representations of Human Genetics in Biology Textbooks. En D. Treagust and C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education*, (pp.147-164). Amsterdam, Springer, doi:10.1007/978-94-007-4192-8
- Diez de Tancredi, D. & Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de Investigación*, 56, 91-121.
- diSessa, A. (2002). Why "conceptual ecology" es a good idea. En M. Limón y L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, (pp. 29-60). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Figini, E. & 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.
- Flores-Camacho, F., García-Rivera, B., Báez-Islas, A., Gallegos-Cázares, L. (2017). Diseño y validación de un instrumento para analizar las representaciones externas de estudiantes de Bachillerato sobre genética, *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, doi: 10.15366/riee, ISSN: 1989-0397
- Gallegos, L., y Flores, F. (2011). Introducción. En L. Gallegos y F. Flores (Eds.), *Secuencias didácticas de biología para los laboratorios de ciencias del bachillerato*. México. UNAM, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.
- Garvin, W. & Stefani, L. (1993). Genetics-genetic disorder and diagnosis: a role-play exercise. *Journal of Biological Education*, 27(1) 51-57, doi:10.1080/00219266.1993.9655304
- Gilbert, J. (2008) Visualization: an emergent field of practice and enquiry in science education. En J. K., Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education*, (pp.3-24). Amsterdam: Springer.
- Kapteijn, M. (1990). The function of organizational levels in biology for describing and planning biology education. En P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Vaarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, (pp. 139-150). Utrecht, The Netherlands: CD Press.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. En J. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education*, (pp. 121-146). Amsterdam: Springer.

Lee, H-S., Liu, O. L. & 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. & 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:10.1080/00219266.2000.9655689

Marbach Ad, G. & Stavy, R. (2000). Student's cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34, 200-210, doi:10.1080/00219266.2000.9655718

Martí, E. & Pozo, J. (2000). Beyond mental representations: The acquisition of external systems of representation. *Infancia y Aprendizaje*, 23(90), 11-30, doi:10.1174/021037000760087946

Otero, M., Moreira, M. & Greca, I. (2002). El uso de imágenes en textos de Física. *Investigacoes en Ensino de Ciencias*, 7(2), 127-154. Fecha de consulta: 11-oct-18. Disponible en: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/565>>

Prain, V. & Tytler, R. (2012). Learning through constructing representation in science: A framework or representational construction affordances. *International Journal of Science Education*, 34(17), 2751-2773, doi:10.1080/09500693.2011.626462

Stewart, J., Cartier, J. & Passmore, C. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. En M. S. Donovan & J. D. Bransford (Eds.), *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom*, (pp. 515-565). Washington, DC: The National Academies Press. Fecha de consulta 11-oct-2018. Disponible en: <<https://www.nap.edu/read/11102/chapter/6>>

Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.