



TRAYECTORIAS REPRESENTACIONALES EN LA COMPRESIÓN DE LA GENÉTICA

Leticia Gallegos Cázares

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Elena Calderón Canales

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Beatriz García Rivera

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

Área temática: Educación en Campos Disciplinarios.

Línea temática: El análisis cognitivo de la construcción, comunicación y desarrollo de conocimientos disciplinares.

Tipo de ponencia: Reporte parcial de investigación .

Resumen:

En este trabajo se analizan las trayectorias representacionales de 186 estudiantes del bachillerato de la UNAM, quienes abordaron el tema de genética con un uso diferenciado en el número y tipo de representaciones externas. Mediante la construcción y aplicación de tres estrategias didácticas sobre genética, así como la generación, validación y aplicación de un instrumento de evaluación, se determinaron los niveles representacionales de los estudiantes de la muestra en cada una de las respuestas que dieron en el cuestionario. Los resultados muestran que los alumnos que trataron el tema con un mayor número y diversidad de recursos representacionales externos exhiben mayores niveles representacionales en los diferentes subtemas de genética considerados en esta investigación, lo cual denota una mejor comprensión de los procesos hereditarios que se contemplaron en las estrategias didácticas que los estudiantes llevaron a cabo con sus respectivos profesores.

Palabras clave: Aprendizaje, Enseñanza de las Ciencias, Representaciones mentales, Procesos cognoscitivos

Introducción

El aprendizaje de la genética es fundamental para la formación de estudiantes, pero dada su complejidad, representa uno de los temas más difíciles de aprender y enseñar. Integrar múltiples niveles de organización biológica (genes, proteínas, células, tejidos, órganos, sistemas, individuo, población, etcétera), vincularlos con conceptos y procesos de manera simultánea, usar vocabulario especializado, contenido matemático o la transición entre niveles macro y micro, son algunas de las dificultades que enfrentan los alumnos cuando abordan este tema (Bahar et al., 1999b; Banet y Ayuso, 2003; Chattopadhyay, 2005; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis y otros, 2000a, 2000b, 2000c; Marbach-Ad, 2001; Marbach-Ad y Stavy, 2000; Knipples, 2000; Saka et al., 2006). Por su parte, los docentes se enfrentan con la dificultad de hacer accesibles a los estudiantes estos complejos procesos, sobre los cuales es probable que los alumnos no tengan suficientes referentes conceptuales.

La investigación reciente ha mostrado que apoyar el aprendizaje de temas complejos como la genética, requiere el uso de múltiples representaciones y por lo tanto el desarrollo de competencias representacionales en los alumnos, que les ayuden a entender y elaborar representaciones de manera interconectada (diSessa, 2004; Gilbert, 2005; Tsui y Treagust, 2013).

Para alcanzar este objetivo, los estudiantes requieren de procesos de refinamiento que les permitan alcanzar una comprensión más profunda de los conceptos y, también, del tipo de representaciones que describen esos conceptos y procesos. En particular, para el dominio biológico, una adecuada comprensión implicaría el reconocimiento y uso del nivel macroscópico; el nivel celular o microscópico; el molecular y el nivel simbólico (Tsui y Teagust, 2013). Para alcanzar estos niveles de refinamiento, los estudiantes necesitan relacionar diversas representaciones e integrar distintos conocimientos en sus representaciones, puesto que están directamente relacionadas con la comprensión de los conceptos y procesos.

Para entender este proceso de aprendizaje es necesario determinar de qué forma los estudiantes van accediendo a mayores niveles de competencia representacional. Para ello, la clasificación de Kozma y Rusell (2005) resulta útil, dado que establece con claridad la distinción entre niveles de representación, que van desde las representaciones de acciones básicas por medios gestuales y pictóricos, hasta el nivel de representaciones expresadas en forma de modelos y teorías de manera formalizada. Transitar por estos niveles lleva implícito un proceso de refinamiento de sus representaciones, pues ese tránsito o trayectoria por niveles de representación, implica que los alumnos sean capaces de integrar conocimiento por medio de establecer relaciones complejas, que permiten modelar o contar con un marco teórico explicativo más articulado y coherente y con posibilidades de aplicarlo a situaciones diversas, según el grado escolar.

De acuerdo con este posicionamiento, en este trabajo se han planteado las siguientes preguntas: ¿cómo se da el tránsito entre niveles de presentación?, ¿qué trayectoria entre niveles de representación describe un mayor refinamiento y comprensión de un tema como la genética?, ¿un proceso de enseñanza que incluya un mayor número y variedad de representaciones externas favorece el tránsito entre representaciones y la comprensión de los conceptos?

La hipótesis apunta hacia que los alumnos que participan de un proceso de enseñanza de la genética que contempla mayor número y diversidad de representaciones externas, transitarán hacia niveles de representación más altos y, en consecuencia, tendrán mayor comprensión conceptual del tema.

Partiendo de ello, se plantearon los siguientes objetivos: analizar los distintos niveles representacionales que alcanzan estudiantes de bachillerato para describir y explicar temas de genética; determinar las diferencias en las trayectorias de basadas en el uso de niveles representacionales, entre tres grupos escolares que trabajaron en el aula con distintos tipos y cantidad de representaciones externas.

Desarrollo

El papel que juegan las representaciones, internas y externas, se ha discutido desde diversos enfoques. Desde un análisis de los procesos cognitivos, se destacan aquellos aspectos que explican el avance conceptual de los alumnos, así como el sentido de las características de las representaciones que se usan en el aula y las habilidades que deben desarrollar para generar e interpretar estas representaciones. Estos aspectos, tanto el conceptual como el uso didáctico, tienen que ver con los problemas de representación en general, y en particular, con la necesidad de identificar aquellos procesos que requieren refinamiento en los estudiantes (Prain y Tytler, 2012, 2013).

Para determinar las posibilidades de representación que los alumnos de bachillerato alcanzan para el tema de genética, se generaron tres estrategias didácticas que se aplicaron en aula a tres grupos (uno por estrategia). El contenido y secuencia de las actividades fue el mismo para los tres grupos escolares, pero varió en el número y tipo de recursos representacionales (lecturas, fotografías, simuladores, actividad experimental) utilizados en cada estrategia. Las secuencias se aplicaron en las clases regulares de Biología V (Escuela Nacional Preparatoria), fueron impartidas por los profesores titulares de cada grupo y su duración fue de cuatro semanas, cuatro horas por semana.

Para identificar las representaciones que generan los alumnos después de trabajar con las distintas estrategias didácticas, se aplicó un cuestionario de 13 preguntas (Flores-Camacho, García-Rivera, Báez-Islas y Gallegos-Cázares, 2017), que fue calificado a partir de la una adaptación a la clasificación de niveles de representación de Kozma y Russell (2005). Los niveles de representación elaborados son:

Nivel 1: Las representaciones guardan alguna semejanza con los aspectos físicos de lo que representan, puede denotar, de manera verbal o gráfica, una entidad o elemento que apela solo a características macroscópicas.

Nivel 2: Son representaciones de distintos elementos genéticos que no implican relaciones con otras representaciones ni contribuyen a elaborar explicaciones. La representación se da mediante el uso de figuras o símbolos de manera denotativa.

Nivel 3: Se establece algún tipo de relación entre los elementos de representación para construir explicaciones. Se pueden expresar en forma escrita, con dibujos y símbolos, procesos o secuencias de procesos. Es posible crear nuevas representaciones a partir de representaciones previas, que sirvan para llevar a cabo razonamientos causales.

Nivel 4: Se elaboran sistemas de representaciones, como modelos y uso de teorías, para elaborar explicaciones. Pueden establecer cadenas de relaciones explicativas expresadas en forma escrita, simbólica, gráfica o de manera combinada, implicando un uso inferencial, en este caso, de la teoría genética.

Se trabajó con 186 estudiantes (15 a 17 años) del sexto año del bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quienes cursaban la materia de Biología V. La muestra se dividió de la siguiente forma: un grupo de 60 estudiantes trabajó la estrategia I (G1), un grupo de 60 alumnos abordó la estrategia II (G2), mientras que el tercer grupo, con 66 estudiantes, llevó a cabo la estrategia III (G3). Los temas que se abordaron en las estrategias didácticas y en el cuestionario de evaluación fueron: A) Especialización celular. Aborda la información genética presente en los diferentes tipos celulares de un organismo y como ésta se expresa para un determinado carácter; B) Segregación de caracteres. Aborda la independencia en la expresión de los caracteres que se heredan, mediante la descripción de la herencia del tipo sanguíneo y otros caracteres; C) Características y diferencias entre células haploides (sexuales) y diploides (somáticas). Aborda la información genética que presentan, así como su origen y funciones; D) Mecanismos de herencia: Dominancia-recesividad y alelos múltiples: Aborda la explicación de las probabilidades de herencia y expresión de un determinado carácter, a partir del genotipo y fenotipo de los progenitores de acuerdo con los mecanismos mencionados; E) Variabilidad genética. Considera los procesos de recombinación implicados en la herencia, como meiosis y entrecruzamiento de los cromosomas homólogos.

Resultados

El análisis de las respuestas del cuestionario (tabla 1) muestra que los alumnos emplean diferentes niveles representacionales en sus respuestas. Esto es, para construir sus explicaciones, recurren a niveles representacionales distintos a medida que van respondiendo las preguntas. El análisis de las respuestas evidenció que el nivel 2 es el más utilizado, lo que indica que, en su mayoría, los alumnos construyen representaciones que no implican relaciones con otras representaciones y tampoco integran figuras o símbolos en sus argumentos.

Tabla 1: Frecuencia del nivel representacional por temática.

TEMÁTICA	NIVELES			
	1	2	3	4
A	99	53	31	1
B	16	90	65	15
C	32	127	23	4
D	22	110	45	3
E	15	125	36	9
TOTAL	184	505	200	32

Este uso diverso de niveles representacionales en las respuestas de los alumnos permite identificar las rutas o trayectorias que alcanzan los estudiantes en sus respuestas, para dar cuenta de los elementos y relaciones que usan en la construcción de sus representaciones lo que, a su vez, da indicios de su comprensión y refinamiento representacional. Para determinar las rutas o trayectorias de los estudiantes, se tomó el nivel máximo de descripción o explicación obtenido por alumno en cada temática. Por ejemplo, si en la temática A (especialización celular), un alumno utilizó los niveles 1 y 2 en sus respuestas, se consideró el nivel 2 como el nivel máximo alcanzado, así para cada temática. Se identificaron cinco trayectorias: Trayectoria I, que considera los niveles representacionales 1 y 2 (48%); Trayectoria II, donde emplean los niveles 1, 2 y 3 (15%); Trayectoria III, donde utilizan los niveles 2 y 3 (25%); Trayectoria IV, que considera los niveles 2, 3 y 4 (10%), y Trayectoria V, que incluye los niveles 3 y 4 (2%). Los porcentajes por trayectoria muestran que la mayoría de los estudiantes (48%) se ubica en la trayectoria I, esto es, gran parte de los participantes tiene una comprensión pobre de los procesos genéticos, en sus respuestas recurren a descripciones de lo perceptible y solo logran generar representaciones simbólicas primarias.

El análisis de los cuestionarios también mostró que existe una diferencia en las trayectorias representacionales de los tres grupos analizados. En la tabla 2 se puede observar que aunque la mayoría de la muestra emplea la trayectoria I (48%), G1 y G2 tienen los porcentajes más altos (75% el G2 y 67% el G1). Por el contrario, los estudiantes de G3 utilizan marcadamente las trayectorias III (52%) y IV (22%), y son los únicos que presentan la trayectoria V (6%).

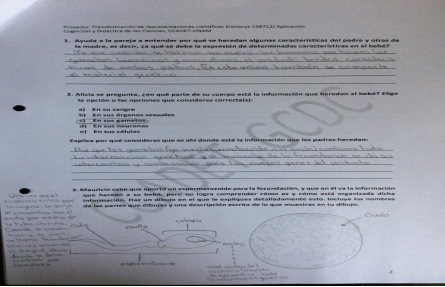
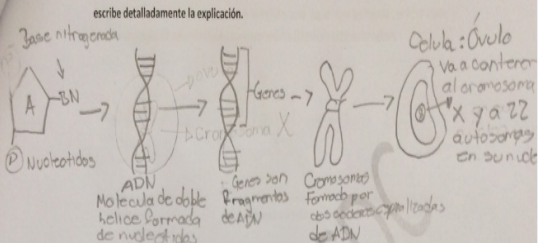
Tabla 2: Porcentaje del uso de las trayectorias representacionales por grupo.

TRAYECTORIA	G1	G2	G3	TOTAL
I	67%	75%	8%	48%
II	20%	13%	12%	15%
III	10%	10%	52%	25
IV	3%	2%	22%	10%
V	0%	0%	6%	2%

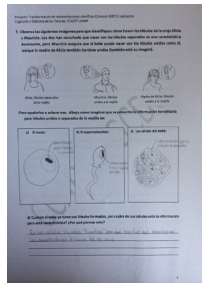
Las trayectorias dan cuenta de los niveles con los que los alumnos representan diversos aspectos de los procesos genéticos. Entre mayor es el nivel de representación que se alcanza en una determinada trayectoria, mayor es la posibilidad de elaborar respuestas escritas y gráficas que muestren de manera

coherente e integrada de la comprensión que tiene de los temas analizados. A modo de ejemplo, se presenta la comparación entre las repuestas de dos alumnos, uno que se ubica en la trayectoria I (y pertenece al G1) y otro que está en la trayectoria V, y forma parte del G3. En la tabla 3 se muestra el tema, el nivel alcanzado, las respuestas de los estudiantes y la descripción de estas.

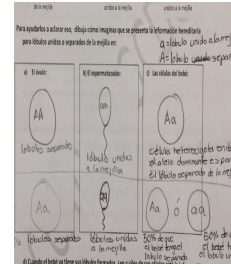
Tabla 3: Comparación de trayectorias I y V.

TEMA	TRAYECTORIA I	TRAYECTORIA V
A	<p>NIVEL 1: "No, porque, aunque sean de formas diferentes (las células), seguirá siendo información genética que tendrá como objetivo transmitirse para su reproducción. Lo único que cambiaría sería la forma en que se encuentra (en cada célula) pero no cambia nada (de la información)".</p> <p>DESCRIPCIÓN: CONSIDERA QUE TODO TIPO DE CÉLULA TIENE LA MISMA INFORMACIÓN GENÉTICA; NO EXPLICA CÓMO OCURRE LA ESPECIALIZACIÓN CELULAR.</p>	<p>NIVEL 3: "No, todas las células contienen la misma información genética debido a que contienen la información genética heredada por los padres, además de que en el momento de la división celular a cada célula somática que se genera en la mitosis se le reparte la misma información genética, pero en el caso de los gametos en la meiosis solo se les reparte la mitad de la información genética".</p> <p>DESCRIPCIÓN: ESTABLECE DIFERENCIAS EN LAS CÉLULAS. DEBIDO A LA MITOSIS Y MEIOSIS SE FORMAN CÉLULAS SOMÁTICAS Y SEXUALES, CON CARGAS GENÉTICAS DISTINTAS (DIPLOIDE O HAPLOIDE).</p>
B	<p>NIVEL 2: "Porque los gametos (ya sea el espermatozoide o el óvulo) contienen toda la información genética y al momento de la fecundación se da su intercambio y combinación para los nuevos genes del producto".</p> <p>DESCRIPCIÓN: RECONOCE QUE HAY CÉLULAS QUE CONTIENEN LA INFORMACIÓN GENÉTICA QUE SE HEREDA. NO EXPLICA A QUÉ SE REFIERE CON INTERCAMBIO Y COMBINACIÓN PARA LA FORMACIÓN DE "NUEVOS" GENES.</p>	<p>NIVEL 3: "No, con su tipo sanguíneo no se podría saber, porque hay características que son por herencia ligada al sexo o por otro tipo de herencia".</p> <p>DESCRIPCIÓN: RECONOCE QUE CADA CARACTER SE HEREDA DE MANERA INDEPENDIENTE.</p>
C	<p>NIVEL 1:</p>  <p>DESCRIPCIÓN: DIBUJA EL NÚCLEO EN LOS GAMETOS, PERO NO INDICA CÓMO ES LA INFORMACIÓN GENÉTICA.</p>	<p>NIVEL 4:</p>  <p>DESCRIPCIÓN: LA INFORMACIÓN GENÉTICA DE LOS GAMETOS SE ENCUENTRA DE FORMA HAPLOIDE (23 CROMOSOMAS, DE LOS CUALES SOLAMENTE HAY UNO SEXUAL). REPRESENTA LA INFORMACIÓN GENÉTICA DE ACUERDO A LOS NIVELES DE ORGANIZACIÓN: BASES NITROGENADAS, GENES, CROMOSOMAS, ADN.</p>

NIVEL 1:



NIVEL 4:



D

MADRE: NO ES MUY PROBABLE PORQUE EL FENOTIPO DE ALICIA DICE QUE ELLA LO TIENE SEPARADO Y ES MÁS CARACTERÍSTICO SIN EMBARGO EL GENOTIPO NO DICE ESTO.

PADRE: ES MÁS FUERTE PORQUE SU FENOTIPO ES TENER DE ESTA FORMA LA OREJA Y EL GENOTIPO NO.

HIJO: ES MÁS PROBABLE PORQUE LAS CÉLULAS DEL PADRE SON MÁS FUERTES QUE LAS DE LA MADRE.

DESCRIPCIÓN: EN LAS CÉLULAS SEXUALES Y SOMÁTICAS HAY INFORMACIÓN GENÉTICA Y LA RELACIONA CON EL FENOTIPO DE LOS SUJETOS. NO ESTABLECE NINGUNA EXPLICACIÓN SOBRE CÓMO SE DA EL MECANISMO DE HERENCIA Y EXPRESIÓN DE DICHA CARACTERÍSTICA.

MADRE: SI ALICIA FUESE HETEROCIGOTA (Aa) PUEDE HABER UN 50% DE PROBABILIDAD QUE EL BEBÉ TENGA LOS LÓBULOS UNIDOS, AL HACER LA CRUZA SU ALELO RECESIVO SE PODRÍA EXPRESAR.

PADRE: ES 100% DEBIDO A QUE SU CARACTERÍSTICA DE TENER LÓBULOS UNIDOS TENDRÁ QUE SER HOMOCIGOTO RECESIVO PARA EXPRESAR ESE FENOTIPO, SOLO PODRÁ HEREDAR AL BEBÉ ESA CARACTERÍSTICA.

HIJO: SI LA MAMÁ ES HOMOCIGOTA DOMINANTE NO HAY PROBABILIDAD PORQUE AL HACER LAS CRUZAS SE VAN A OBTENER ORGANISMOS HETEROCIGOTOS QUE EXPRESAN LA CARACTERÍSTICA DOMINANTE, SI ALICIA ES HETEROCIGOTA, HAY UN 50% DE PROBABILIDAD QUE SU FENOTIPO SEA DE LÓBULOS UNIDOS.

DESCRIPCIÓN: INFIERE A PARTIR DEL FENOTIPO DE LOS PADRES EL GENOTIPO. DISTINGUE EL MECANISMO DE DOMINANCIA Y RECESIVIDAD Y LO APLICA PARA DETERMINAR LAS PROBABILIDADES DE HERENCIA DEL CARACTER. RECONOCE DISTINTAS POSIBILIDADES DE HERENCIA Y EXPRESIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE ACUERDO AL GENOTIPO DE LOS PADRES.

E

NIVEL 1: "YA QUE CUANDO SE FORMA UN NUEVO SER HUMANO PARTICIPAN LOS GAMETOS FEMENINOS Y MASCULINO, EL PRODUCTO TENDRÁ SUS CARACTERÍSTICAS".

DESCRIPCIÓN: EXISTEN CÉLULAS ESPECIALIZADAS PARA EL PROCESO DE FECUNDACIÓN, PERO NO EXPLICA SUS IMPLICACIONES EN LA VARIABILIDAD GENÉTICA. NO HACE REFERENCIA A LAS CARACTERÍSTICAS Y ORIGEN DE LOS GAMETOS.

NIVEL 3: "CADA BEBÉ VA A SER DIFERENTE PORQUE EN LA DIVISIÓN MEIÓTICA VA A HABER UN ENTRECruzAMIENTO ENTRE CROMOSOMAS HOMÓLOGOS LO QUE CAUSA QUE FRAGMENTOS DE UN CROMOSOMA SE COMBINEN CON LOS DE OTRO; AL MOMENTO DE LA FECUNDACIÓN SE VAN A UNIR ESTOS GAMETOS QUE VAN A CONTENER DISTINTOS CARACTERES HEREDABLES".

DESCRIPCIÓN: SEÑALA QUE LA VARIABILIDAD GENÉTICA OCURRE PORQUE DURANTE EL PROCESO DE FORMACIÓN DE GAMETOS, LA INFORMACIÓN GENÉTICA SE RECOMBINA MEDIANTE CROSSING OVER.

Como se puede apreciar en el ejemplo de la tabla 3, el estudiante de la trayectoria V genera explicaciones más completas, tiene la posibilidad de incorporar y relacionar distintas formas de representación, las que le permiten dar cuenta de una comprensión más coherente y clara de la genética.

Referencias

- Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86, doi:10.1080/00219266.1999.9655648
- Banet, E. & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: a strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 24, 313-351.
- Chattopadhyay, A. (2005). Understanding of genetic information in higher secondary students in Northeast India and the implications for genetics education. *Cell Biology Education*, 4 (1), 97-104.
- diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22, 293-331.

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*, 10(2), 151-169.

Gilbert, K. J. (Ed.) (2005). *Visualization in Science Education*. Springer: The Netherlands.

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

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualisation in science education* (pp. 121-145). The Netherlands: Springer.

Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? -young people understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(4), 74-79.

Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000a). What's in a cell? Young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3), 129-132.

Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000b). Chromosomes: the missing link. Young people's understanding of mitosis, meiosis and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(3), 189-199.

Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4), 183-189.

Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205.

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

Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006) Cross-age study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 192-202.

Tsui, Chi-Yan, & Treagust, D. F. (2013). Introduction on multiple representations: The importance in biological education. En D. F. Treagust y Chi-Yan, Tsui (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp.3-18). Springer.