

IBUJAR PARA APRENDER: POTENCIALIDADES DE LOS DIBUJOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS IDEAS DE LEWONTIN SOBRE LAS RAZAS HUMANAS

GASTÓN PÉREZ

Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. gastonperez@ccpems.exactas.uba.ar

LUZ SALATINO

Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires Argentina

LEONARDO GONZÁLEZ GALLI

Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires Argentina

Resumo:

Palavras-chaves: : Jogo educativo; Ensino de Biologia; Aprendizagem.

Resumen: Si bien el racismo es ampliamente reconocido como un problema importante en nuestra sociedad, la enseñanza tradicional de la genética suele pasar por alto los modelos teóricos fundamentales para comprender los patrones de diversidad genética en las poblaciones humanas, modelos que podrían ayudar a fomentar una perspectiva crítica sobre el racismo. En este artículo, presentamos los resultados de una investigación realizada en el marco de actividades de aula diseñadas para enseñar modelos genéticos que esclarecen lo que la biología contemporánea revela sobre la base genética de la diversidad humana. En particular, la investigación indagó en las posibles contribuciones de los dibujos realizados por estudiantes de secundaria durante una actividad centrada en el trabajo epítomico de Richard Lewontin. Dicho trabajo explico que, al comparar grupos tradicionalmente clasificados como "razas", existe mayor variabilidad genética dentro de las poblaciones que entre ellas. Para alcanzar el objetivo, analizamos los dibujos de los estudiantes mediante análisis temático con el fin de identificar categorías que reflejen las ideas que transmiten dichos dibujos, discutiendo el potencial de este medio expresivo en la enseñanza de estos conceptos.

Palabras clave: Dibujar para aprender, Racismo, Enseñanza de la genética.

DRAWING TO LEARN: THE POTENTIAL OF DRAWINGS IN TEACHING LEWONTIN'S IDEAS ABOUT HUMAN RACES.

Abstract: While racism is widely acknowledged as a significant issue in our society, traditional genetics education often overlooks the theoretical models crucial for understanding patterns of genetic diversity in human populations—models that could help foster a critical perspective on racism. In this article, we present the findings of research conducted within classroom activities designed to teach genetic models that elucidate what contemporary biology reveals about the genetic basis of human diversity. Specifically, the research investigated the potential contributions of drawings created by high school students during an activity centered on Richard Lewontin's seminal work. This work demonstrated that, when comparing groups traditionally classified as "races," there is more genetic variability within populations than between them. To achieve this, we analyzed the students' drawings using thematic analysis to identify categories that reflect the ideas they convey, discussing the potential of this expressive medium in teaching these concepts.

Keywords: Drawing to learn, Racism, Teaching genetics.

INTRODUCCIÓN

El racismo constituye un problema de gran impacto en nuestras sociedades. La discriminación en función de una (presunta) raza, es fuente de injusticia y sufrimiento para las personas racializadas. La educación en general, y la investigación en didáctica en particular, no son ajenas a esta situación y se encargaron de proponer distintos abordajes sobre este tópico desde enfoques diversos como los sociológicos, deconstructivistas, decoloniales, multiculturalistas y otros relacionados (Niemonen, 2008; Beltrán Castillo & Molina Andrade, 2016; Kaplan & Saez, 2019).

En el área de la didáctica de la biología, existen numerosas investigaciones recientes que recuperan la importancia de algunos elementos novedosos para pensar los aspectos educativos de la cuestión racial. Por ejemplo, el caso de las cuotas raciales en universidades de Brasil para la enseñanza de conceptos de la genómica (da Silva Dias et al., 2018); el análisis del racismo estructural en los modos de alimentarse para el abordaje de la nutrición humana (Orozco Marín & Cassiani, 2021); la revisión de los currículos de la genética para contrarrestar el racismo (Donovan & Nehm, 2020); o el uso de conceptos de biología evolutiva o de genética para discutir razonamientos xenofóbicos (Silva et al., 2020; Guevara et al., 2023), solo por mencionar algunos.

En el presente artículo, nos enfocaremos en el uso didáctico de un episodio fundamental en la historia de la investigación sobre la cuestión racial en biología: el clásico trabajo de Richard Lewontin (1972) "The apportionment of human diversity". Dicho trabajo, ampliamente citado, ha sido muy importante no sólo dentro del ámbito de la biología evolutiva o de la genética, sino también para la comprensión pública de los aspectos científicos de la cuestión racial. Incluso actualmente tiende a ser una de las más citadas referencias sobre este tópico en el ámbito académico y público de las redes sociales (Carlson & Harris, 2022; Edge et al., 2022).

En su artículo, Lewontin se propuso analizar la distribución de la diversidad genética en la especie humana y, a partir de los resultados que obtuvo, comunicó que, en función de la genética, hay muchas más similitudes entre personas que se consideran pertenecientes a los distintos grupos humanos llamados "razas" que dentro de estos grupos. Dicho de otro modo, que existe una mayor variabilidad genética dentro de los grupos considerados tradicionalmente como razas, que entre dichos grupos. Esta conclusión proporcionó bases para la comprensión de la diversidad genética humana pero también una

respuesta a quienes utilizaban la biología para justificar el racismo (Edge et al., 2022). Incluso, el trabajo de Lewontin suele tomarse como evidencia en la enseñanza tradicional para sostener que la biología "demostró" que las razas humanas no existen. No obstante, esta evidencia parecería ser sólo discursiva, dado que no suele enseñarse en qué consistiría dicha "demostración", posiblemente, en parte, porque no es comprendida por los docentes (McChesney, 2015).

Comprender las ideas de Lewontin posiblemente sea contraintuitivo para los estudiantes dadas las diversas concepciones alternativas y las dificultades en torno a la idea de población (Berzal de Pedrazzini & Barberá, 1993; Jiménez Tejada et al., 2008) o a la genética (Lewis et al., 2000; Ayuso & Banet, 2002; Lewis & Kattmann, 2004; Gericke & Hagberg, 2007; Ruiz González et al., 2017; Stern, 2020). Cabe preguntarse, entonces, qué estrategias didácticas pueden utilizarse para abordar las ideas del trabajo de Lewontin en las clases de biología de modo de contribuir, desde este espacio curricular, a la comprensión y pensamiento crítico de los estudiantes en relación con el problema del racismo. En este artículo nos proponemos caracterizar los tipos de representaciones visuales de la diversidad genética humana que construyen estudiantes de nivel secundario en el marco de una actividad orientada a enseñar en qué consistió el aporte de Lewontin al debate sobre las bases genéticas de la diversidad humana. A partir de dicho análisis discutiremos las potencialidades que tiene el uso de los dibujos para la enseñanza de este tópico.

MARCO TEÓRICO

RICHARD LEWONTIN Y "LA DISTRIBUCIÓN DE LA DIVERSIDAD HUMANA"

Después de la segunda guerra mundial, el rechazo al nazismo y su versión genocida de la eugenesia, así como las declaraciones de la UNESCO de 1950, que congregaron a varios de los principales biólogos, genetistas, fisiólogos, sociólogos y antropólogos de la época (entre ellos Ashley Montagu, Theodosius Dobzhansky o Julian Huxley), se marcó el contexto para que el concepto de raza comience a ser evitado en distintos ámbitos (Wade, 2014). Hacia mediados de los 60 se acordó un tratado internacional denominado "Convención Internacional para la Eliminación de todas las formas de Discriminación Racial", que obligó a los estados participantes a prohibir y eliminar la discriminación racial en todas sus formas y a garantizar el derecho de toda persona a la igualdad ante la ley, sin distinción de raza, color y origen nacional o étnico.

En este contexto, se publican dos textos

significativos para el área de la genética de poblaciones humanas: *Genetics of Human Populations* (1971) y *Genetics, Evolution, and Man* (1976), del genetista italiano Luigi Luca Cavalli-Sforza y el genetista británico Walter Fred Bodmer (Relethford, 2012), respectivamente. Estos textos posibilitaron las condiciones para que muchos científicos de la época hayan buscado evidencias biológicas de que los humanos no pueden dividirse biológicamente en entidades discretas denominadas razas. Así, comienzan a aparecer las ideas de que todos los seres humanos somos fundamentalmente iguales en términos biológicos, y que nuestras diferencias físicas son superficiales (Wade, 2014; López Beltrán et al., 2017).

En esta línea, en 1972, Richard Lewontin publica su trabajo "La distribución de la diversidad humana" (*The Apportionment of Human Diversity*). El mismo se basó en técnicas de biología molecular novedosas para la época, que permitían analizar tanto la variación genética dentro de un grupo de individuos como también entre grupos. El objetivo de su trabajo fue analizar la distribución de la diversidad genética en la especie humana. Para ello, tomó muestras de diferentes razas tradicionales de la época (caucásicos, negros africanos, mongoloides, aborígenes del sur asiático, amerindios y nativos de Oceanía) y analizó 17 genes asociados a distintos grupos sanguíneos. Calculó la diversidad dentro y entre poblaciones y encontró que dentro de las mismas existe mucha diversidad (entre un 63,6% y un 99,7%) mientras que entre ellas, la diversidad disminuye. De esta manera, las típicas razas resultaron ser mucho más similares entre ellas, mientras que la mayor variación se encontró dentro de cada una, entre los individuos que la componen.

Lewontin cierra su trabajo indicando que "La clasificación racial humana no tiene valor social y es posiblemente destructiva de las relaciones humanas y sociales. Dado que ahora se considera que dicha clasificación racial prácticamente no tiene importancia genética o taxonómica, no se puede ofrecer ninguna justificación para su continuación" (Lewontin, 1972: 397).

Luego de este trabajo, se hicieron muchos otros que utilizaron polimorfismos de distinto tipo, así como otras metodologías, para analizar los datos (Barbujani & Colona, 2010; Jobling et al., 2014). Una diferencia entre estos trabajos posteriores y el de Lewontin es que los científicos refieren a grupos continentales más que a razas. Las conclusiones son similares, entre el 83-88% de la variación autosómica se encuentra dentro de las poblaciones y entre el 9-13% se encuentra entre grupos continentales (Jobling et al., 2014; Templeton, 2019).

DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE DE LAS IDEAS DE LEWONTIN

La enseñanza tradicional de la genética, con énfasis en las leyes de Mendel, no contribuye a que los estudiantes construyan herramientas para hacer frente al racismo. Esto se debe, entre otros aspectos, a que dicho enfoque no ayuda a comprender la distribución de la variación genética a escala poblacional, a la vez que fomenta concepciones deterministas. Frente a esto, investigaciones recientes sugieren la importancia de modificar los currículos para incluir contenidos que sí permitan poner en discusión las ideas racistas (Guevara et al., 2023; Donovan et al., 2024; Duncan et al., 2024). Es en este sentido que la enseñanza de las ideas a las que arribó Lewontin se vuelve relevante y necesaria. Sin embargo, esto estará atravesado por diversas dificultades que los estudiantes poseen, tanto en relación con la genética como en relación con la concepción de población.

Respecto de las dificultades con relación a la genética, se encuentran múltiples investigaciones que caracterizan las concepciones que sostienen los estudiantes y que suelen persistir tras la instrucción. Los trabajos clásicos de Enrique Banet y Gabriel Ayuso (Banet & Ayuso, 1995; Ayuso et al., 1996; Ayuso & Banet, 2002) sugieren que los estudiantes atribuyen significados erróneos a conceptos básicos, como cromosomas, genes o alelos; no alcanzan a comprender procesos como la meiosis, ni el papel que juega el azar en la transmisión de los caracteres hereditarios. Además, suponen que la información hereditaria es diferente en cada tipo de célula, de acuerdo a la función que cumplen. Estas concepciones también fueron encontradas en otras investigaciones con otras poblaciones (Lewis et al., 2000; Lewis & Kattmann, 2004; Gericke & Hagberg, 2007; Ruiz González et al., 2017; Stern, 2020).

Si bien los estudiantes suelen realizar de manera correcta ejercicios con el tablero de Punnett, como los clásicos que se utilizan para enseñar las leyes mendelianas, cuando se indaga sobre la comprensión de los modelos de la genética que subyacen, se encuentra que no los comprenden. Algunas investigaciones sugieren que los estudiantes tienen grandes dificultades para comprender, por ejemplo, la relación entre fenotipo y genotipo, suponiendo una mirada determinista de la acción de los genes (Gericke & Hagberg, 2007; Castéra & Clément, 2014; Puig & Jiménez Aleixandre, 2014; Gericke & El-Hani, 2018; Stern, 2020). Estas concepciones pueden ser el resultado de enseñar implícitamente ciertos modelos genéticos (Gericke & Hagberg, 2007), del modo en que se habla públicamente de los genes (Lanie et al., 2004), así como de los propios modos de razonar de las personas (Dar-Nimrod & Heine, 2011).

Respecto de las dificultades con relación

al concepto de población, se ha encontrado que, cuando los estudiantes describen poblaciones, suelen centrarse en rasgos observables de la población, como en la cantidad de individuos (Berzal de Pedrazzini & Barberá, 1993). Además, los estudiantes suelen considerar a la población como una colección de individuos representada por un tipo común, restándole valor a la variación. En este contexto, los estudiantes entienden a los individuos como esencialmente iguales. Esto está asociado con el razonamiento esencialista, que supone que ciertas categorías son reales y poseen una fuerza causal subyacente -la esencia de carácter inmutable- que es responsable de las características que comparten los miembros de la categoría. Desde este marco de razonamiento, se asume que las poblaciones son homogéneas y discretas, donde sus miembros comparten una cierta esencia que los hace ser lo que son (Dar-Nimrod & Heine, 2011; Stern, 2020).

Así, enseñar modelos científicos que abordan la diversidad genética a escala poblacional supone un desafío importante a la luz de las dificultades mencionadas.

EL USO DE LOS DIBUJOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Es habitual que en las aulas de ciencias de nivel secundario se solicite a los estudiantes comunicar sus conocimientos o brindar explicaciones en distintos formatos representacionales. Pero, en general, se tiende a priorizar el lenguaje verbal (escrito u oral). Esto supone adoptar una mirada monomodal de la comunicación (Izquierdo et al., 2003; Márquez et al., 2006), lo que configura decisiones culturales implícitas dentro del aula de secundaria en las cuáles los estudiantes suponen una mayor legitimidad de ciertos modos de representar que de otros. En este sentido, existen algunos modos de comunicación, como los dibujos, que no se demandan habitualmente en las aulas tradicionales. Se asume -tanto por docentes como por alumnos- que no servirían como modos genuinos para construir significados (Kress, 2010).

Más allá de aquellos modos que se priorizan en las aulas de ciencias, el estado normal de la comunicación humana en general, y de la científica en particular, es multimodal (Waldrip et al., 2006; Jaipal, 2010; Kress, 2010; Ainsworth et al., 2011; Gómez Galindo, 2013; Tsui & Treagust, 2013). Existen diversos modos de representación tales como el lenguaje oral, la escritura, el lenguaje matemático, el lenguaje musical, las imágenes estáticas o en movimiento, los lenguajes lógicos, los sistemas figurativos como diagramas, mapas o dibujos,

cada uno de los cuáles posee potencialidades específicas y puede tener relaciones con otros modos (Gómez Galindo, 2013).

Estas diferentes formas de representación se utilizan para dar sentido a los fenómenos y actúan como mediadores en la comunicación entre los sujetos, mediando la relación entre los fenómenos del mundo y los modelos que los explican (Pujol & Márquez, 2011; Gómez Galindo, 2008). Autores como Oh & Oh (2011) consideran que cada modo de representación permite comunicar diferentes aspectos del modelo teórico y que, por lo tanto, poseen ciertas restricciones o limitaciones, lo que llevaría directamente a la necesidad de utilizar múltiples representaciones en el aula para construir significados lo más ajustados posible a los modelos científicos escolares (Izquierdo et al., 2003; Gómez Galindo, 2013).

Según diversos autores (Ainsworth, 2006, 2008; Ainsworth et al., 2011; Gómez Galindo, 2013; Peart, 2021) trabajar con diferentes tipos de representaciones para aprender conceptos científicos complejos posee diferentes ventajas. Por ejemplo, algunas representaciones hacen sentir más cómodos a ciertos estudiantes, otras pueden proveer de información complementaria a la que se ofrece en otros modos de representación, pero también constriñen la interpretación y ayudan a los estudiantes a construir significados más robustos.

En este marco, los dibujos poseen un gran potencial comunicativo para mostrar un escenario en el que pasan cosas, las relaciones de las partes con el todo o la simultaneidad y secuenciación de los procesos. La mayoría de estos aspectos serían más difíciles de comunicar a través de otros formatos, como un texto escrito o la oralidad (Márquez, 2002; Gómez Llombart & Gavidia Catalán, 2015). Incluso, en el marco de la modelización escolar, los dibujos permitirían enfocarse en los aspectos semánticos del modelo más que en los aspectos sintácticos o matemáticos (Heijnes et al., 2018). Además, los dibujos ayudan al docente a identificar concepciones o modelos de los estudiantes que en otros tipos de registros sería difícil detectar (Libarkin et al., 2015; Chang et al., 2020; Murtonen et al., 2020; Peres, 2021; Peart, 2021). No obstante, más allá de estas potencialidades, es habitual que en las clases de ciencia los estudiantes se vean desafiados a centrarse en interpretar las representaciones visuales de otros y no es habitual que se los anime a crear sus propios dibujos para desarrollar y demostrar comprensión (Ainsworth et al., 2011).

En un amplio trabajo de revisión bibliográfica sobre el aprendizaje mediado por dibujos, Fiorella & Zhang (2018) muestran que la evidencia existente indica que cuando los estudiantes crean dibujos propios tienen un

mejor desempeño en pruebas de comprensión y transferencia que los estudiantes a quienes solo se les pide leer un texto. Es posible que esto funcione, entre otras cosas, porque cuando los estudiantes deben crear sus propias representaciones, ponen en juego procesos cognitivos de selección de elementos a representar, organización de la información en una representación coherente e integrada, que conecte ideas con otros modos de representación de la información.

En este sentido, la construcción de un dibujo no sería la mera traducción de los modelos mentales de los estudiantes. Estos procesos estarán mediados por el docente, el grupo de estudiantes, el contexto, los materiales disponibles, los deseos, las preferencias personales y las normas sociales del aula (Danish & Enyedy, 2007).

Según Martí & Pozo (2000), en cierto modo, las representaciones externas acaban por generar nuevos usos y nuevos sistemas de representación interna. Lo que contribuye a desarrollar estrategias de aprendizaje mediante la reorganización de ideas y la integración de nuevos conocimientos (Gómez Llombart & Gavidia Catalán, 2015).

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Los objetivos de esta investigación son caracterizar los tipos de representaciones visuales de la diversidad genética humana que construyen estudiantes de nivel secundario en el marco de una actividad orientada a enseñar en qué consistió el aporte de Lewontin al debate sobre las características genéticas de la diversidad humana. Esta actividad ocurrió en el contexto de una secuencia didáctica orientada a que los estudiantes comprendieran las perspectivas genéticas sobre la categorización de las poblaciones humanas en razas. A partir de dicho análisis nos proponemos discutir las potencialidades que tiene el uso de los dibujos para la enseñanza de las ideas de Lewontin.

Para abordar estos objetivos se empleó un diseño de investigación cualitativo-interpretativo (Flick, 2007), del que participó una población de estudiantes de nivel secundario (N= 107) de entre 15 y 16 años. Estos estudiantes asistían a una escuela de gestión pública en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina). Se recopilaron datos desde 2020 a 2024 que abarcan dos cohortes anuales, cada una de ellas compuesta por aproximadamente 15 estudiantes en su tercer año de escuela secundaria. La selección de la muestra se basó en la conveniencia, no probabilística y no aleatoria (Flick, 2007).

Para la toma de datos se utilizó una secuencia didáctica que tenía como objetivo que los estudiantes comprendieran los debates en

torno a la categorización de las poblaciones humanas basadas en la genética (una versión completa de la misma puede encontrarse en Pérez y González Galli, 2024). Las clases se impartieron por el primer autor de este artículo. Dentro de la secuencia se incluyó una actividad en la que se proponía a los estudiantes analizar el estudio realizado por Richard Lewontin y elaborar un dibujo que permitiera comunicarlo (recuadro 1).

En ambas figuras, Javier y Aldana representan cada una de las poblaciones que estudió Lewontin a partir de un único individuo con características fenotípicas distintivas tales como el color de la piel, la forma de los ojos o el tipo de pelo. Ambos estudiantes parecen asumir que todos los individuos de la población pueden representarse de manera estereotípica y que no hay necesidad de mostrar la variabilidad (si es que piensan en ella). Este tipo de representaciones no sólo están alejadas de las ideas de Lewontin (y, más en general, del modelo biológico de población), sino que parecen ser contrarias a las mismas. Podemos esbozar dos hipótesis respecto de por qué representan de esta manera a la población. La primera, es que no hayan desarrollado la "capacidad representacional" en el uso, interpretación y construcción de representaciones. Esta capacidad está asociada a sus conocimientos previos, las escalas involucradas, los cambios de escala al momento de explicar los fenómenos o la capacidad de representación espacial (Ainsworth, 2006; Tsui & Treagust, 2013). Quizás los estudiantes pueden pensar en términos de diversidad poblacional, más no así representarla. La segunda hipótesis, es que aunque posean la capacidad representacional, su modelo no incluye la diversidad intrapoblacional como un elemento relevante. En tal sentido, estos estudiantes no alcanzan aún una comprensión de la idea de diversidad y de su importancia en el análisis realizado por Lewontin, y por ello no la representan. Para analizar los dibujos producidos por los estudiantes, se realizó un análisis temático (Braun & Clarke, 2013; Neuendorf, 2019), que permite la organización sistemática de los datos, identificando patrones de significado. En primera instancia, se realizó lo que los autores describen como generación de códigos, donde se asignaron códigos a los dibujos relacionados con el marco teórico y con los objetivos de la investigación. Esta asignación permitió resumir la información contenida en los dibujos. En segunda instancia, se llevó a cabo lo que en el contexto de este método se conoce como tematización: se agruparon los códigos similares que permitieran describir un patrón en el conjunto de datos. Los temas elaborados poseen un significado específico en relación con los objetivos de este trabajo. En tercera

Actividad "Sobre la diversidad humana"

En 1972, Richard Lewontin publica un trabajo que será muy importante en el desarrollo de la Biología. En su trabajo, se preguntó ¿Podemos agrupar en razas a la humanidad? Para responder a esta pregunta Lewontin realizó un análisis genético de genes asociados a los grupos sanguíneos (ABO, MNS, Rh, y otros). El análisis lo realizó en 7 grupos humanos:

- Caucásicos (como alemanes, españoles, entre otros);
- Negros africanos (como zulúes, senegaleses, entre otros);
- Mongoloides (como chinos, coreanos, entre otros);
- Aborígenes del sur asiático;
- Amerindios (como brasileros, mexicanos, mapuches, entre otros);
- Oceánicos (como maoríes, samoanos, entre otros);
- Aborígenes australianos.

En total su investigación incluyó el análisis de 17 genes que se muestran en la tabla. En función de esos genes y de los grupos humanos analizados calculó:

(1) ¿Cuán diferentes son dos personas -que tomó al azar- de la misma población? Esto es la diversidad de alelos existente dentro de cada uno de los grupos. A eso lo llama diversidad dentro de las poblaciones.

Recuadro 1: continuación.

(2) ¿Cuán diferentes son dos personas -que tomó al azar- de dos poblaciones distintas? Esto es la diversidad de alelos existente para ese gen entre los distintos grupos. A eso lo llama diversidad entre poblaciones.

Cuanto más cercano a 100 es el resultado numérico, eso significa que es más diverso. Cuanto más cercano a 0 significa que es poco diverso. Algunos de los resultados del estudio de Lewontin se muestran en la tabla:

Genes	Diversidad	
	Dentro de las poblaciones	Entre poblaciones
Hp	89.3	05.1
Ag	83.4	-
Lp	93.9	-
Xm	99.7	-
Ap	92.7	06.2
6PGD	87.5	05.8
PGM	94.2	03.3
Ak	84.8	02.1
Kidd	74.1	21.1
Duffy	63.6	10.5
Lewis	96.6	03.2
Kell	90.1	07.3
Lutheran	69.4	21.4
P	94.9	02.9
MNS	91.1	04.1
Rh	67.4	07.3
ABO	90.7	06.3

Imagínense que deben explicarle a un compañero que faltó los análisis y resultados a los que llegó Lewontin. Construyan un dibujo que les permita representar la diversidad dentro de una población para un gen, y la diversidad comparando entre poblaciones para ese mismo gen. Pueden elegir el gen ABO que

Recuadro 1: continuación.

es el que da la característica del grupo sanguíneo a las personas. Este gen posee tres alelos: A, B y 0.

Incluyan en su dibujo las siguientes etiquetas: alelos, gen, población, diversidad.

Lo importante es que el dibujo sirva para explicarle a un compañero estas investigaciones.

instancia, los temas se revisaron, refinaron y ajustaron. Cada autor del artículo llevó a cabo de forma independiente las dos primeras instancias, mientras que la instancia final se llevó a cabo de forma colaborativa. Así, se dio prioridad a los temas que surgieron de forma consistente en los análisis independientes. De esta manera, se garantizó la comparabilidad y validez de los temas, a partir de esta triangulación entre investigadores (Flick, 2007; Braun & Clarke, 2013).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

En este apartado presentaremos, en primer lugar, la caracterización de las representaciones visuales que construyeron los estudiantes al analizar las ideas de Lewontin y, en segundo lugar, las potencialidades que tiene el uso de los dibujos para la enseñanza de las mismas.

REPRESENTACIONES VISUALES SOBRE LAS IDEAS DE LEWONTIN

Podemos caracterizar cuatro tipos de representaciones, que se corresponden con patrones en el conjunto de datos. Las describiremos desde las más alejadas a las ideas propuestas por Lewontin, hasta aquellas más cercanas.

1. Representación esencialista de la población

En este tipo de representaciones los estudiantes dibujan individuos diferentes para representar cada población analizada por Lewontin. Este tipo de representación cumple con algunos supuestos del razonamiento

esencialista respecto de las poblaciones, en los que los estudiantes desestiman la variabilidad dentro de la población y suponen que pueden representarse a través de un estereotipo (Dar-Nimrod & Heine, 2011; Stern, 2020). Ejemplos de este tipo de representación se muestran en las figuras 1 y 2.

2. Representación no tipológica divergente de las poblaciones

En este tipo de representaciones los estudiantes representan una de las ideas clave de Lewontin: dentro de las poblaciones existe mucha variabilidad. En este sentido, no serían representaciones tipológicas. Sin embargo, no logran representar que también hay variantes compartidas entre las poblaciones. En tal sentido, parece ser que las poblaciones, si bien son diversas hacia dentro de las mismas, además son totalmente diferentes entre ellas. Ejemplos de este tipo de representación se muestran en las figuras 3 y 4.

En la figura 3, María representa poblaciones en las que hay diversidad. Por ejemplo, puede notarse que en los llamados "caucásicos" representa diversidad de cuerpos. Si bien en su representación escribe "- (menos) diversidad" con flechas que conectan las poblaciones, la representación muestra que cada población es bien distinta de la otra, que no comparten rasgos. Por su parte, en la figura 4, Lorena representa la diversidad dentro de las poblaciones con colores. Sin embargo, esos colores no se repiten entre las poblaciones, ni tampoco las características que decidió variar (polleras, pantalones, pelos enrollados).

Podemos interpretar que para los estudiantes es más fácil representar la

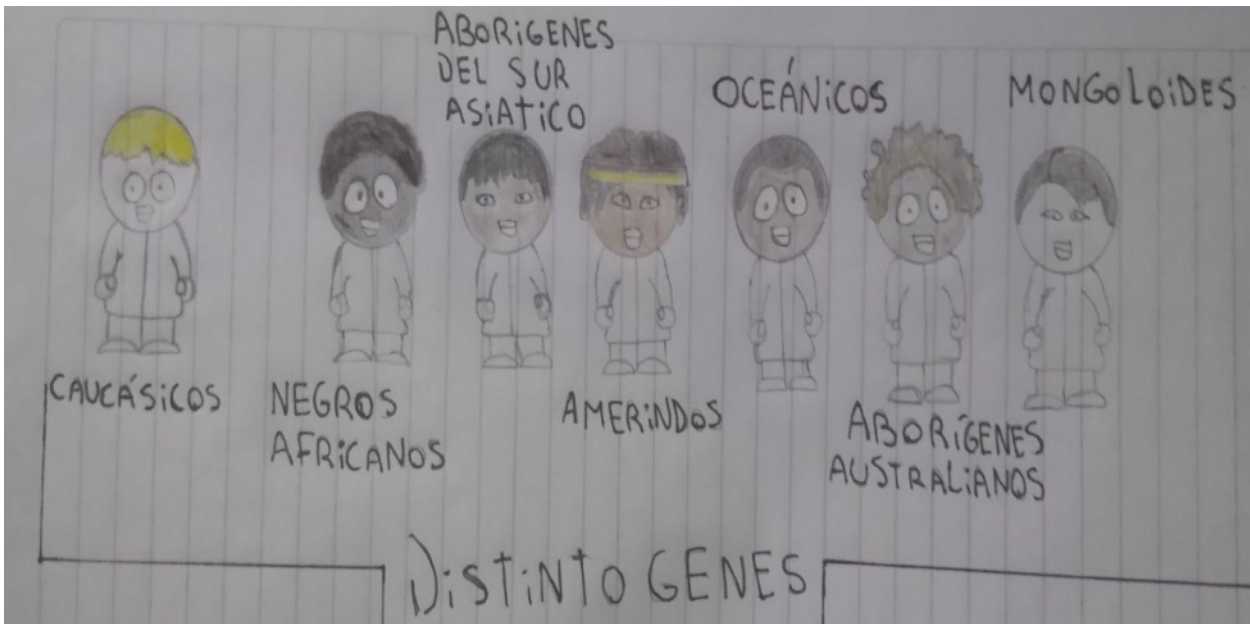


Fig. 1 - Representación esencialista de la población de Javier.
Fig. 1 - Essentialist representation of the population of Javier.

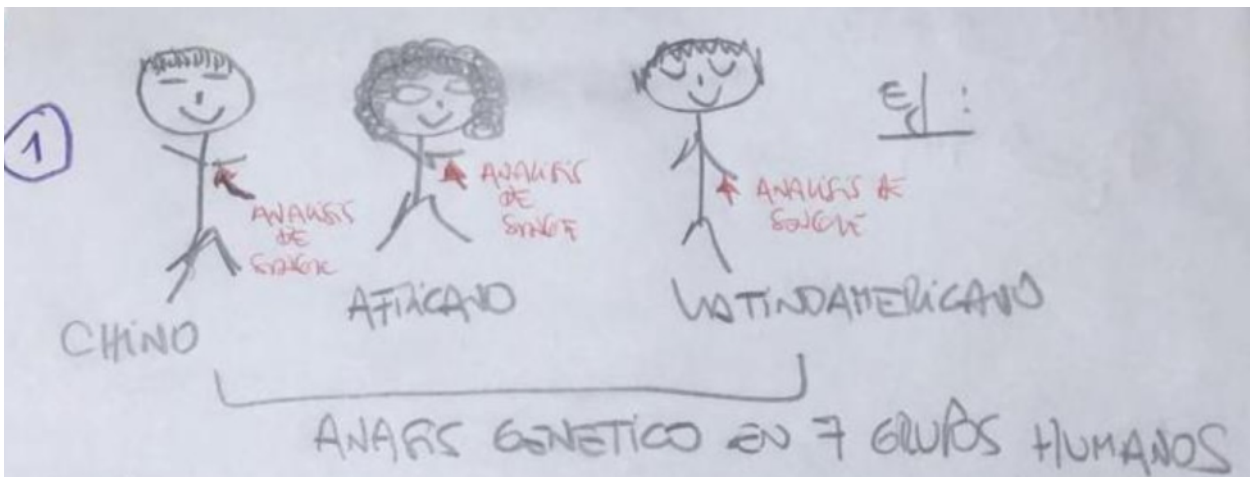


Fig. 2 - Representación esencialista de la población de Aldana.
Fig. 2 - Essentialist representation of the population of Aldana.

variabilidad dentro de una población, no así la comparación entre poblaciones. Quienes representan de esta manera podrían estar en tránsito de comprender las conclusiones de Lewontin. Hipotetizamos que la idea de que existen variantes compartidas entre poblaciones (aunque estas difieran en sus frecuencias alélicas) es más contraintuitiva que la idea de mucha diversidad dentro de una población. Parecería sostenerse en estas representaciones

una idea de "raza" típica, pero asumiendo la existencia de variabilidad dentro de ella (por eso "no tipológica"). Esto es consistente con un razonamiento de tipo esencialista, aunque represente la variabilidad dentro de cada población. Razonar de manera esencialista no implica negar la variabilidad, sino desestimarla (Gelman & Rhodes, 2012). Incluso, este aspecto de las representaciones de los estudiantes es parcialmente análogo a sistemas de

pensamiento de la historia, como la propuesta de Aristóteles, que sin desestimar la variabilidad la consideraba como un accidente, una desviación del "tipo" pero sosteniendo el estereotipo, la esencia (Walsh, 2006). De esta manera, si bien los estudiantes estarían considerando aquí que la variabilidad es un aspecto importante de las poblaciones, al mismo tiempo, ese supuesto no invalidaría la

posibilidad de dividir a la especie humana en grupos en base a sus rasgos.

3. Representación completa de las ideas de Lewontin

En este tipo de representación los estudiantes expresan las dos ideas clave propuestas en el trabajo de Lewontin: que dentro de las poblaciones existe mucha diversidad a la vez que entre poblaciones la diversidad disminuye. Ejemplos de este tipo de representación se muestran en las figuras 5 y 6.

En la figura 5, Lisandro representa diferentes genotipos del grupo sanguíneo con distintos símbolos (cuadrados, rombos, círculos, etc.). Por ejemplo, dentro de la "población africana" se representa la diversidad incluyendo todos los símbolos planteados, lo que sería coherente con la idea de que dentro de las poblaciones existe mucha diversidad. A su vez, la "población americana" cumple con ello, y al compararla con la otra población, se encuentra que ambas comparten los mismos símbolos. Esto podría dar cuenta de que entre poblaciones la diversidad es menor que la se encuentra al interior de cada población. En la figura 6 Mario representa la diversidad con colores en los monigotes, representando ambas ideas de Lewontin de la misma manera.

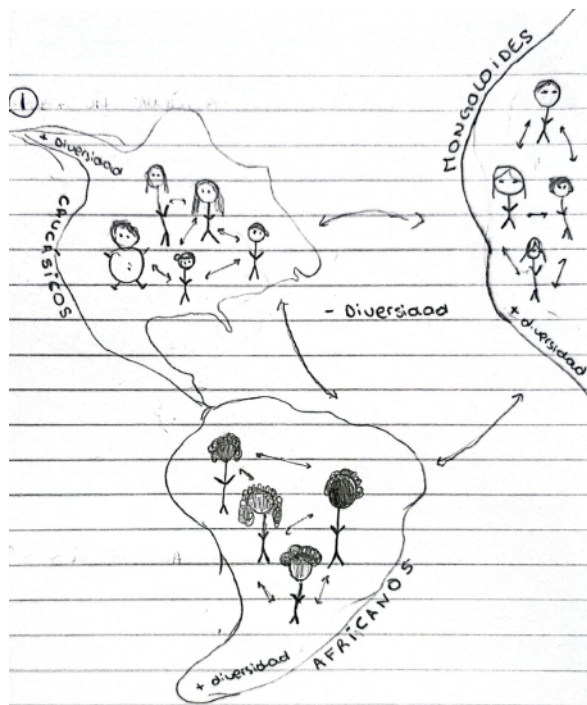


Fig.3: Representación no tipológica divergente de las poblaciones de María

Fig.3:-Non-typological divergent representation of the populations of Maria

4. Representación completa de las ideas de Lewontin con elemento novedoso

En este tipo de representación los estudiantes, además de representar las dos ideas clave propuestas en el trabajo de Lewontin, representan fenotipos visibles diferentes para cada población. Es decir, parece que los estudiantes entienden que, a pesar de

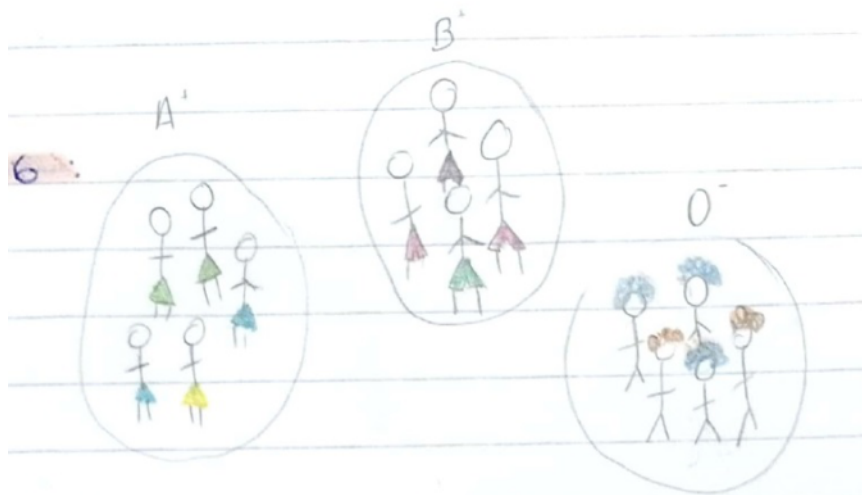


Fig 4: Representación no tipológica divergente de las poblaciones de Lorena

Fig 4:-Non-typological divergent representation of the populations of Lorena

que existe más variabilidad intrapoblacional que interpoblacional, ciertos rasgos (como el color de piel) podrían permitir diferenciar las poblaciones entre sí. Si bien esta idea no es parte del modelo de Lewontin, es una idea que tienen los estudiantes sobre la cuestión racial y es fuertemente intuitiva. Se puede hipotetizar que esta concepción deriva del hecho de que, en efecto, ciertos rasgos como el color de piel parecen -al menos en un análisis superficial limitado a unos pocos rasgos que son visualmente llamativos- ser claramente distintos entre poblaciones. De hecho, es probable que este tipo de concepciones, muy cercanas a lo perceptual, hayan estado en la base de las clasificaciones raciales tradicionales. En cualquier caso, consideramos didácticamente importante el hecho de que esta concepción se exprese en los dibujos de los estudiantes, ya que dicha expresión permite poner en discusión que la división en razas históricamente se realizó a partir de los rasgos superficiales, en base a un fundamento muy sesgado por nuestra percepción inmediata, y que la biología actual nos da herramientas más potentes y rigurosas para evaluar la diversidad de un modo más objetivo (en el sentido de no tan groseramente ligado a nuestra percepción). Ejemplos de este tipo de representación se muestran en las figuras 7 y 8.

Ambas representaciones muestran mucha diversidad dentro de las poblaciones. En la figura 7 el estudiante utiliza diversos colores

que representan "genes/alelos" que varían dentro de las poblaciones, y en la figura 8 se representan genotipos del grupo sanguíneo que varían en la población celeste y violeta. Además, se representa que entre poblaciones la diversidad disminuye. En la figura 7, los colores se repiten en las poblaciones, y lo mismo ocurre con los genotipos en la figura 8. Ahora bien, además, podemos interpretar que estas representaciones presentan un elemento novedoso que es que las personas se representan de manera diferente para cada población. En la figura 7, los símbolos utilizados son diferentes para cada población, pero más allá de esto, la diversidad se sostiene. En la figura 8, en cambio, las personas de cada población se representan con diferentes colores (celeste y violeta). Hipotetizamos que esta representación muestra que, si bien en algunos casos los individuos de diferentes poblaciones puedan distinguirse visiblemente (porque, en el general, poseen determinado tipo de pelo, forma de ojos, etc.), el trasfondo genético mostraría que no hay diversidad observable dentro de las poblaciones en tanto que, al analizar sus genotipos, esa supuesta homogeneidad no es tal.

Potencialidades del uso de dibujos en la enseñanza de las ideas de Lewontin

En función de los análisis presentados antes podemos describir algunas potencialidades de la construcción de dibujos en la enseñanza de las ideas de Lewontin.

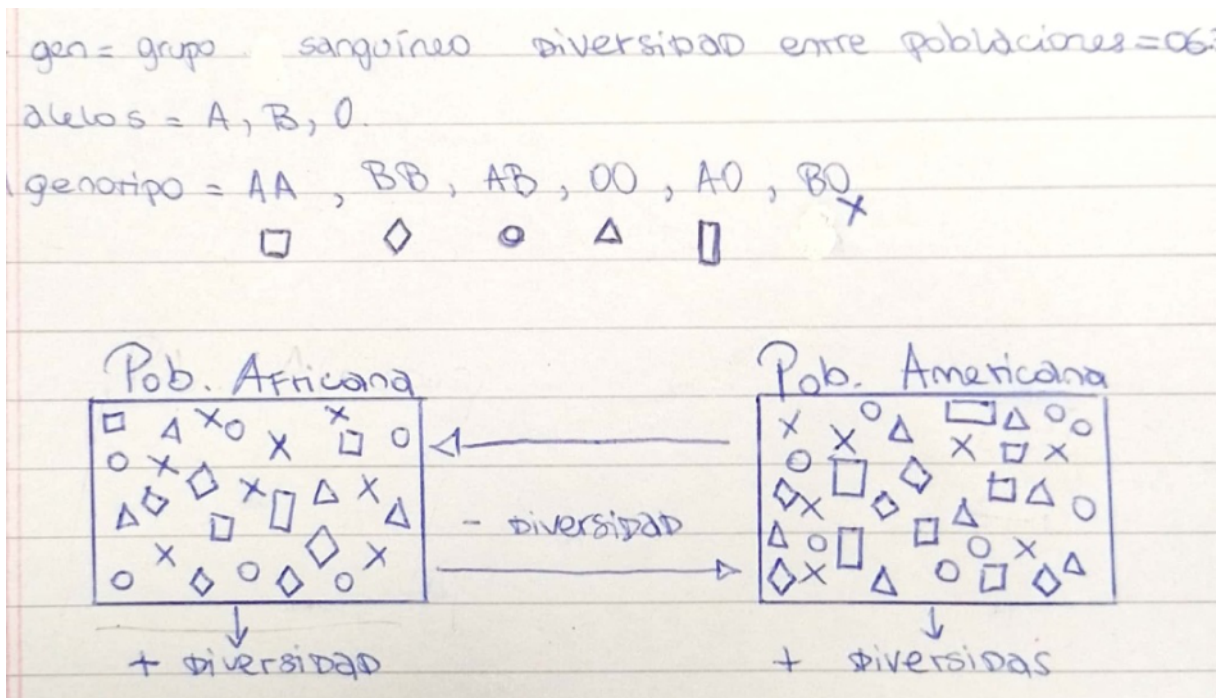


Fig. 5 Representación completa de las ideas de Lewontin de Lisandro

Fig. 5 Complete representation of Lewontin's ideas of Lisandro

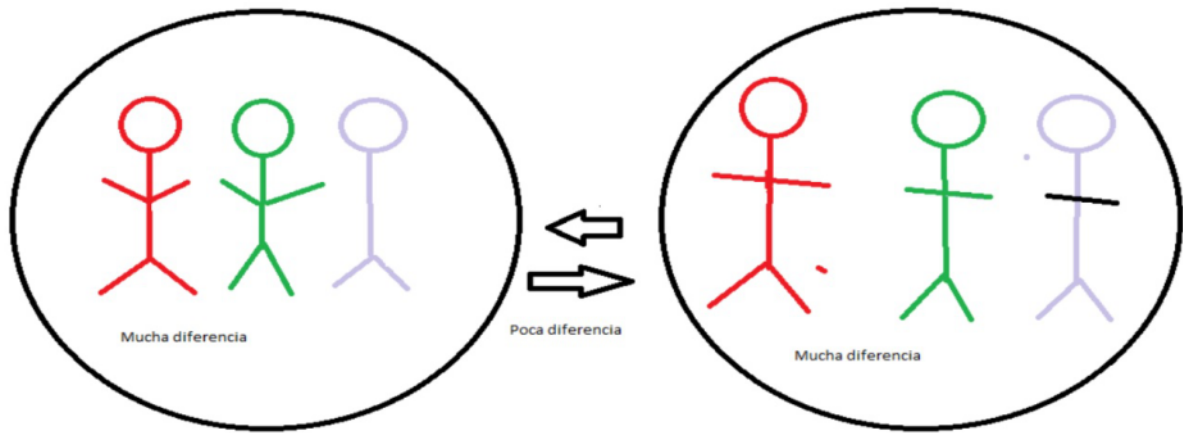


Fig. 6: Representación completa de las ideas de Lewontin de Mario
Fig. 6: Complete representation of Lewontin's ideas of Mario

En primer lugar, los dibujos permiten a los estudiantes representar aspectos de las ideas de Lewontin que serían difíciles de representar en otros formatos, tales como la variabilidad poblacional o la comparación entre poblaciones. El formato textual, cuando los estudiantes hablan de la variabilidad de una población, no permite capturar en su totalidad la forma en la que están pensando en dicha variabilidad (Pérez, 2021). Por ejemplo, no nos permite discernir si se imaginan que la variabilidad es observable o no, o si es fenotípica o genotípica.

En los análisis expuestos, los estudiantes utilizan diferente simbología para representar la población y su variabilidad: monigotes, círculos, cuadrados, colores, etc. Además, encontramos dos tipos de descriptores de la variabilidad. Por un lado, los estudiantes representan la variabilidad utilizando rasgos fenotípicamente visibles tales como el color de pelo, la forma de los ojos, el color de piel. La figura 4, sería un ejemplo de este caso. Por otro lado, los estudiantes representan la variabilidad utilizando rasgos fenotípicamente no visibles tales como el grupo sanguíneo ABO. Ejemplos de ello corresponden a la figura 6 o la figura 7.

En segundo lugar, los dibujos permiten a los docentes conocer concepciones (o aspectos de dichas concepciones) de los estudiantes que serían difíciles de conocer en otros formatos (Libarkin et al., 2015; Chang et al., 2020; Murtonen et al., 2020; Péres, 2021; Peart, 2021). Por ejemplo, como mostramos en la figura 1 y la figura 2, el dibujo permite detectar concepciones de tipo esencialistas respecto de las poblaciones, en las que los estudiantes muestran una representación basada en estereotipos (Dar-Nimrod & Heine, 2011; Stern, 2020). Otra concepción frecuente en los

dibujos, también descrita previamente como una dificultad común en el aprendizaje de la genética (Banet & Ayuso, 1995; Ayuso et al., 1996; Ayuso & Banet, 2002), es la confusión respecto de genes y alelos. En la figura 9, Carla representa una población (círculo), en la que hay personas (barras alargadas) que poseen ciertos genes (triángulos de colores). Como se observa en el dibujo, los genes varían entre las personas, en vez de ser los alelos los que varían. En la figura 7, donde se menciona "genes/alelos", también podría estar expresándose esta dificultad.

Ambas representaciones muestran mucha diversidad dentro de las poblaciones. En la figura 7 el estudiante utiliza diversos colores que representan "genes/alelos" que varían dentro de las poblaciones, y en la figura 8 se representan genotipos del grupo sanguíneo que varían en la población celeste y violeta. Además, se representa que entre poblaciones la diversidad disminuye. En la figura 7, los colores se repiten en las poblaciones, y lo mismo ocurre con los genotipos en la figura 8. Ahora bien, además, podemos interpretar que estas representaciones presentan un elemento novedoso que es que las personas se representan de manera diferente para cada población. En la figura 7, los símbolos utilizados son diferentes para cada población, pero más allá de esto, la diversidad se sostiene. En la figura 8, en cambio, las personas de cada población se representan con diferentes colores (celeste y violeta). Hipotetizamos que esta representación muestra que, si bien en algunos casos los individuos de diferentes poblaciones puedan distinguirse visiblemente (porque, en el general, poseen determinado tipo de pelo, forma de ojos, etc.), el trasfondo genético mostraría que no hay diversidad observable

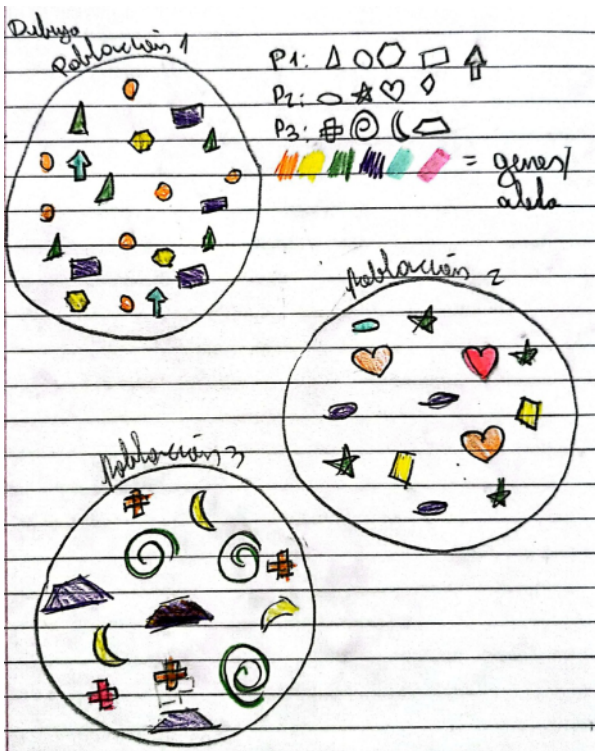


Fig 7: Representación completa de las ideas de Lewontin con elemento novedoso de Romina
Fig.7 Complete representation of Lewontin's ideas with a novel element by Romina

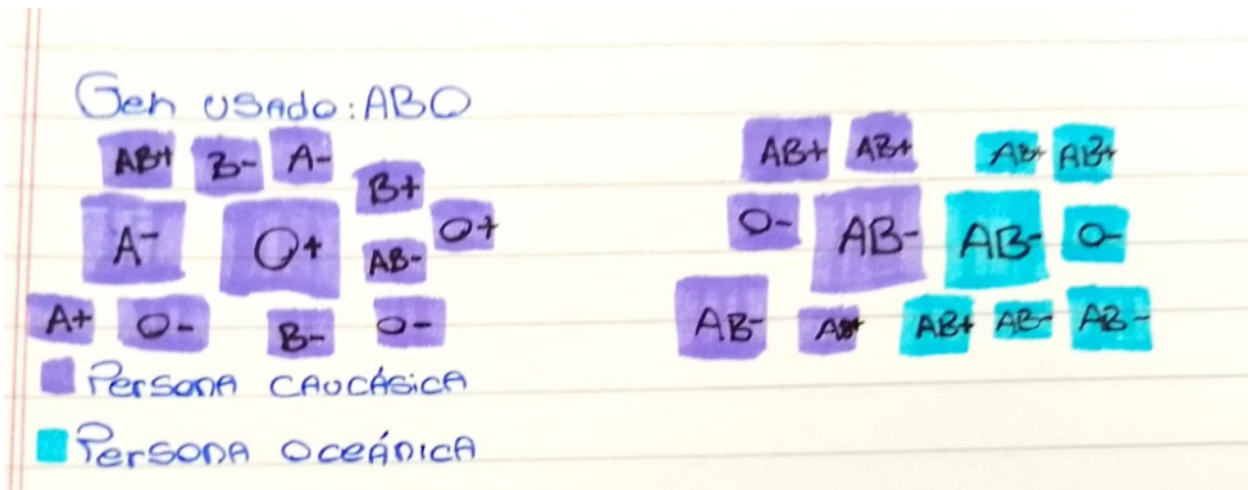


Fig. 8: -Representación completa de las ideas de Lewontin con elemento novedoso de Bianca
Fig. 8: -Complete representation of Lewontin's ideas with a novel element by Bianca

cuadrados, colores, etc. Además, encontramos dos tipos de descriptores de la variabilidad. Por un lado, los estudiantes representan la variabilidad utilizando rasgos fenotípicamente visibles tales como el color de pelo, la forma de los ojos, el color de piel. La figura 4, sería un ejemplo de este caso. Por otro lado, los estudiantes representan la variabilidad utilizando rasgos fenotípicamente no visibles

dentro de las poblaciones en tanto que, al analizar sus genotipos, esa supuesta homogeneidad no es tal.

Potencialidades del uso de dibujos en la enseñanza de las ideas de Lewontin

En función de los análisis presentados antes podemos describir algunas potencialidades de la construcción de dibujos en la enseñanza de las ideas de Lewontin.

En primer lugar, los dibujos permiten a los estudiantes representar aspectos de las ideas de Lewontin que serían difíciles de representar en otros formatos, tales como la variabilidad poblacional o la comparación entre poblaciones. El formato textual, cuando los estudiantes hablan de la variabilidad de una población, no permite capturar en su totalidad la forma en la que están pensando en dicha variabilidad (Pérez, 2021). Por ejemplo, no nos permite discernir si se imaginan que la variabilidad es observable o no, o si es fenotípica o genotípica.

En los análisis expuestos, los estudiantes utilizan diferente simbología para representar la población y su variabilidad: monigotes, círculos,

tales como el grupo sanguíneo ABO. Ejemplos de ello corresponden a la figura 6 o la figura 7.

En segundo lugar, los dibujos permiten a los docentes conocer concepciones (o aspectos de dichas concepciones) de los estudiantes que serían difíciles de conocer en otros formatos (Libarkin et al., 2015; Chang et al., 2020; Murtonen et al., 2020; Pérez, 2021; Peart, 2021). Por ejemplo, como mostramos en la

figura 1 y la figura 2, el dibujo permite detectar concepciones de tipo esencialistas respecto de las poblaciones, en las que los estudiantes muestran una representación basada en estereotipos (Dar-Nimrod & Heine, 2011; Stern, 2020). Otra concepción frecuente en los dibujos, también descrita previamente como una dificultad común en el aprendizaje de la genética (Banet & Ayuso, 1995; Ayuso et al., 1996; Ayuso & Banet, 2002), es la confusión respecto de genes y alelos. En la figura 9, Carla representa una población (círculo), en la que hay personas (barras alargadas) que poseen ciertos genes (triángulos de colores). Como se observa en el dibujo, los genes varían entre las personas, en vez de ser los alelos los que varían. En la figura 7, donde se menciona "genes/alelos", también podría estar expresándose esta dificultad.

En tercer lugar, y en función de lo mencionado hasta aquí, los dibujos (y su construcción) permitirían a los docentes poner en discusión algunos aspectos del aprendizaje de las ideas de Lewontin que de otro modo no serían evidentes. Por ejemplo, permite discutir qué ideas se dibujan y cuáles no, y sobre las razones de dichas decisiones; sobre si los rasgos elegidos son útiles para representar la variabilidad; permite discutir qué símbolos representan mejor las ideas de Lewontin o cómo se puede representar mejor para ajustarse a estas ideas. Si bien, coincidiendo con Ainsworth et al. (2011), leer un texto y hacer un dibujo sobre él requiere que los estudiantes hagan explícita su comprensión, no necesariamente se hacen explícitas las decisiones que han tomado para representar cómo lo hicieron, por lo que la intervención docente sería necesaria para que esta potencialidad de la elaboración de dibujos se concrete.

CONCLUSIONES

En este artículo nos propusimos caracterizar las representaciones visuales que construyen los estudiantes al analizar las ideas de Lewontin (como parte de un proceso de enseñanza tendiente a enseñar las bases biológicas de la diversidad humana de modo que dicho conocimiento sirva como insumo para el desarrollo del pensamiento crítico en relación con racismo) y describir las potencialidades que tiene el uso de los dibujos para la enseñanza de las mismas.

Sobre las representaciones que construyen los estudiantes, encontramos un espectro que va desde representaciones esencialistas (Dar-Nimrod & Heine, 2011; Stern, 2020), hasta otras más cercanas a las ideas de Lewontin (y, más en general, a los modelos científicos vigentes) que integran de manera

adecuada las complejidades de la diversidad poblacional. Cada una de estas representaciones refleja diferentes grados de comprensión de las ideas de Lewontin. Aunque no podemos ordenar estas diversas representaciones en una secuencia lineal en relación con el grado de comprensión del contenido, identificamos que parece especialmente difícil representar la idea de que hay tanto diversidad intra como interpoblacional. Como un aspecto positivo importante, encontramos que los dibujos, permiten enfocarse en los aspectos semánticos del modelo (el significado, qué dice sobre la parcela de la realidad bajo análisis) más que en los aspectos matemáticos (Heijnes et al., 2018). Esto, por ejemplo, puso en evidencia que los estudiantes tienden a confundir cantidad con proporción.

Sobre el potencial didáctico de los dibujos, encontramos que en este contexto sirven como una herramienta valiosa para representar la variabilidad genética y la diversidad poblacional. A través de representaciones visuales, los estudiantes pueden expresar sus concepciones y sus comprensiones, permitiendo a los docentes identificar y abordar concepciones alejadas de las ideas de Lewontin que podrían ser difíciles de detectar en formatos textuales (Libarkin et al., 2015; Chang et al., 2020; Murtonen et al., 2020; Pérez, 2021; Peart, 2021).

El proceso de diseño de dibujos en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, permite abrir espacios diferentes de discusión en el aula, donde se pueden analizar los aspectos seleccionados y omitidos en las representaciones que se construyen, lo que enriquecerá la comprensión de las ideas científicas.

Por otro lado, es necesario tener presente que se pidió a los estudiantes representar gráficamente un modelo altamente complejo, abstracto y contraintuitivo. Por tal razón, no es esperable que los dibujos expresen todos los componentes del modelo en cuestión y que además lo hagan de un modo científicamente correcto. Cabe recordar aquí que realizar dibujos requiere una selección del contenido a representar que permita simplificarlo en relación con un fin comunicativo (Fiorella & Zhang, 2018). En este sentido, no debería sorprender que, tal como sucedió, ciertos aspectos del modelo (por ejemplo, la distinción entre cantidades y proporciones) no aparezcan representados en ninguno de los dibujos analizados. Estas omisiones pueden interpretarse al menos de tres modos alternativos. Por un lado, podría suceder que los estudiantes no hayan comprendido ciertos aspectos del modelo a aprender (el científico escolar), por lo que ese aspecto no sería parte

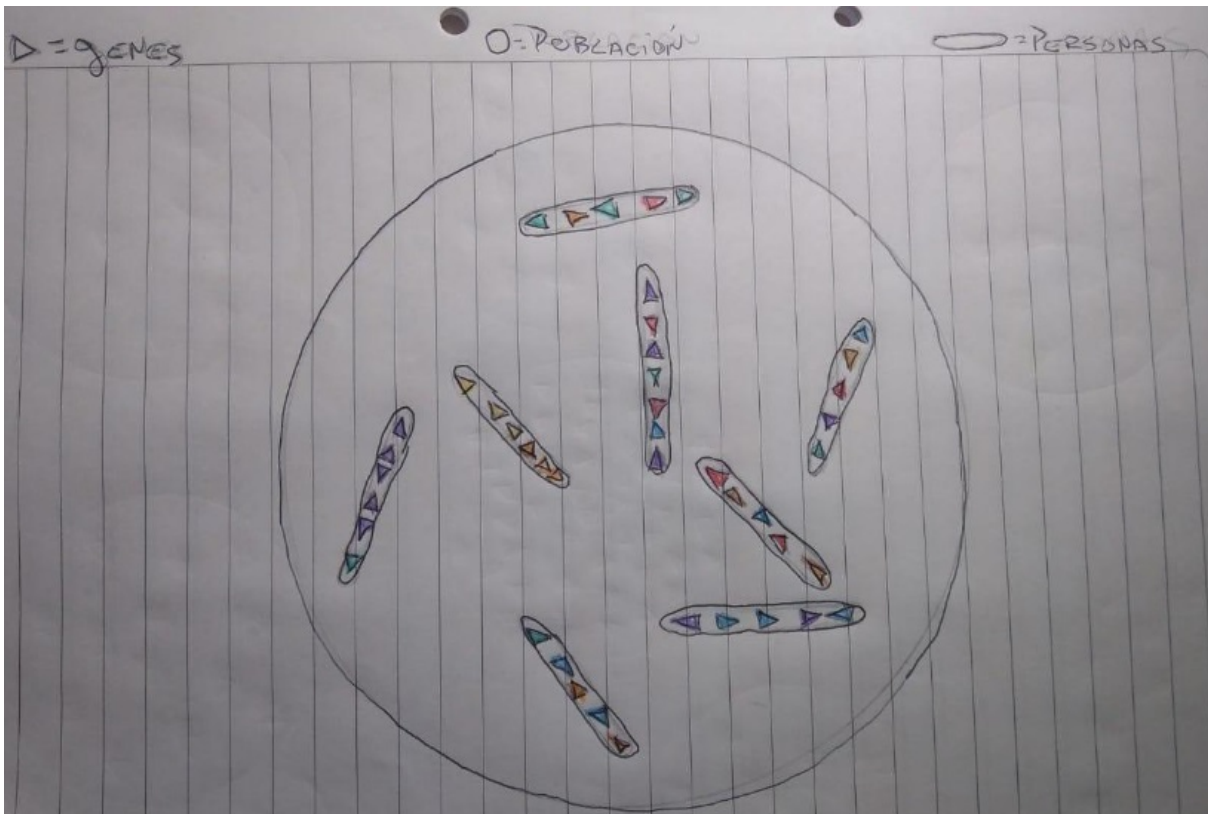


Fig. 9: Representación de Carla donde se detecta la confusión entre genes y alelos

Fig. 9: Representation of Carla where the confusion between genes and alleles is detected

33

del modelo aprendido (aquel que de hecho el estudiante logró construir). Por otro lado, alternativamente, podría ocurrir que el estudiante haya comprendido cierto aspecto del modelo pero que juzgue innecesario o poco relevante representarlo al responder a la consigna dada por el docente (¿podría alguna variante de la consigna ser más eficaz para incentivar una representación más completa?). Por último, podría ocurrir que el estudiante comprendiera cierto aspecto de modelo y que, además, lo considere relevante, pero sea incapaz de representarlo gráficamente. Creemos que para valorar los alcances y limitaciones de esta propuesta de enseñanza sería importante distinguir entre estas explicaciones alternativas en relación con los aspectos del modelo no representados. Para tal fin se requeriría más información que podría obtenerse a partir de preguntas adicionales que podrían ser parte de la consigna inicial en relación con qué ideas específicas se proponen graficar, que expliciten y argumenten si han decidido no representar cierta idea, o si encuentran difícil expresar gráficamente alguna de dichas ideas. Además, tal como ya mencionamos, la intervención docente durante la resolución de la actividad podría ser de gran valor para ayudar a los estudiantes a pensar sobre estas cuestiones durante el trabajo al tiempo que brindaría al docente información extra sobre la marcha del

mismo.

Las sugerencias previas en relación con posibles modificaciones de las consignas dadas a los estudiantes señalan algunas limitaciones del presente estudio que afectan la cantidad y calidad de la información obtenida. En este sentido, creemos que se necesitan futuras investigaciones para explorar más detalladamente los modos de implementar el recurso del dibujo en la enseñanza de estos contenidos. También sería deseable indagar las interacciones entre estos modos de expresión y otros igualmente diferentes de los tradicionales como, por ejemplo, la construcción de maquetas u otros dispositivos tridimensionales para representar las poblaciones y su diversidad (Gómez Galindo, 2008).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainsworth, S.** 2006. DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction* 16: 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, S.** 2008. The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. pp. 191-208. In: *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Springer: New York.

- Ainsworth, S., V. Prain, & R. Tytler.** 2011. Drawing to Learn in Science. *Science* 333(6046): 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ayuso, G., T. Abellán, & E. Banet.** 1996. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: II ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias* 14(2): 127-142. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4219>
- Ayuso, E. & E. Banet.** 2002. "Pienso más como Lamarck que como Darwin": comprender la herencia biológica para entender la evolución. *Alambique* 9(32): 39-47.
- Banet, E. & G. Ayuso.** 1995. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 13(2): 137-153.
- Barbujani, G. & V. Colonna.** 2010. Human genome diversity: frequently asked questions. *Trends in Genetics* 26: 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2010.04.002>
- Beltrán Castillo, M. J. & A. Molina Andrade.** 2016. Racismo científico y análisis de contenido en textos escolares de Ciencias Naturales. *Tecné, Episteme y Didaxis* número especial.
- Berzal de Pedrazzini, M. & O. Barberá.** 1993. Ideas sobre el concepto biológico de población. *Enseñanza de las Ciencias* 11(2): 149-159. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4530>
- Braun, V. & V. Clarke.** 2013. *Successful qualitative research: A practical guide for beginners*. Los Ángeles: Sage.
- Carlson, J. & K. Harris.** 2022. The apportionment of citations: a scientometric analysis of Lewontin 1972. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 377(20200409). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0409>
- Castéra, J., P. Clément.** 2014. Teachers' Conceptions About the Genetic Determinism of Human Behaviour: A Survey in 23 Countries. *Science & Education* 23: 417–443. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9494-0>
- Chang, H.-Y., T. Lin, M. Lee, S. Lee, T. Lin, A. Tan & C. Tsai.** 2020. A systematic review of trends and findings in research employing drawing assessment in science education. *Studies in Science Education* 1–34. <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1735822>
- da Silva Dias, T., K. Meneses Fernandes, J. Sánchez Arteaga & C. Sepúlveda.** 2018. Cotas raciais, genes e política. Uma questão sociocientífica para o ensino de ciências. pp. 303-324. In: *Questões sociocientíficas. Fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas*. Salvador da Bahia, Editora da Universidade Federal da Bahia.
- Danish, J. & N. Enyedy.** 2007. Negotiated representational mediators: How young children decide what to include in their science representations. *Science Education* 91(1): 1-35. <https://doi.org/10.1002/sce.20166>
- Dar-Nimrod, I. & S. Heine.** 2011. Genetic essentialism: on the deceptive determinism of DNA. *Psychological Bulletin* 137(5): 800-818. <https://doi.org/10.1037/a0021860>
- Donovan, B. & R. Nehm.** 2020. Genetics and Identity. *Science & Education* 29: 1451–1458. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00180-0>
- Donovan, B., M. Weindling, J. Amemiya, B. Salazar, D. Lee, A. Syed, M. Stuhlsatz & J. Snowden.** 2024. Humane genomics education can reduce racism. *Science* 383(6685): 818-822. <https://doi.org/10.1126/science.adi7895>
- Duncan, R., R. Krishnamoorthy, U. Harms, M. Haskel-Ittah, K. Kampourakis, N. Gericke, M. Hammann, M. Jimenez-Aleixandre, R. Nehm, M. Reiss & A. Yarden.** 2024. The sociopolitical in human genetics education. *Science* 383(6685): 826-828. <https://doi.org/10.1126/science.adi8227>
- Edge, M., S. Ramachandran & N. Rosenberg.** 2022. Celebrating 50 years since Lewontin's apportionment of human diversity. *Phil. Trans. R. Soc. B* 277(1852). <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0405>
- Edwards, A.** 2003. Human genetic diversity: Lewontin's fallacy. *BioEssays* 25(8): 798-801.

- Fiorella, L. & Q. Zhang.** 2018. Drawing Boundary Conditions for Learning by Drawing. *Educational Psychology Review* 30(3): 1115-1137. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9444-8>
- Flick, U.** 2007. *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid, Morata.
- Gelman, S. & M. Rhodes.** 2012. Two-Thousand Years of Stasis. How psychological essentialism impedes evolutionary understanding. pp. 3-21. In: *Evolution Challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. New York, Oxford University Press.
- Gericke, N. & M. Hagberg.** 2007. Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science & Education* 16(7): 849-881. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9064-4>
- Gericke, N. & C. El-Hani.** 2018. Genetics. pp. 110-123. In: *Teaching Biology in Schools. Global Research, Issues, and Trends*. New York, Routledge.
- Gómez Galindo, A.** 2008. Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos?. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* 4(2): 83-99.
- Gómez Galindo, A.** 2013. Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias* 31(1): 11-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.733>
- Gómez Llombart, V. & V. Gavidia Catalán.** 2015. Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Eureka* 12(3): 441-455.
- Guevara, E., S. Gopalan, D. Massey, M. Adegboyega, W. Zhou, A. Solis, A. Anaya, S. Churchill, J. Feldblum & R. Lawler.** 2023. Getting it right: Teaching undergraduate biology to undermine racial essentialism. *Biology methods & protocols* 8(1). <https://doi.org/10.1093/biomethods/bpad032>
- Heijnes, D., W. van Joolingen & F. Leenaars.** 2018. Stimulating scientific reasoning with drawing-based modeling. *Journal of Science Education and Technology* 27: 45-56.
- Izquierdo Aymerich, M., C. Marquez & M. Espinet.** 2003. Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las ciencias* 21(3): 371-386.
- Jaipal, K.** 2010. Meaning making through multiple modalities in a biology classroom: A multimodal semiotics discourse analysis. *Science Education* 94(1): 48-72. <https://doi.org/10.1002/sce.20359>
- Jiménez Tejada, M., F. González García & J. Hódar.** 2008. El aprendizaje del concepto biológico de población: cómo pueden las ciencias sociales y las matemáticas colaborar con la didáctica de la biología. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales* 22: 103-114.
- Jobling, M., F. Hollox, M. Hurles, T. Kivisild, & C. Tyler-Smith.** 2014. *Human evolutionary genetics* (2nd edition). New York, Garland Science.
- Kaplan, K. & V. Saez.** 2019. *Estigmatización, racismo y violencia en el territorio escolar. Deconstruyendo las miradas de los medios de comunicación*. Buenos Aires, Homo Sapiens.
- Kress, G.** 2010. *Multimodality. A social semiotic approach to contemporary communication*. New York, Routledge.
- Lanie, A., T. Jayaratne, J. Sheldon, S. Kardia, E. Anderson, M. Feldbaum & E. Petty.** 2004. Exploring the public understanding of basic genetic concepts. *Journal of genetic counseling* 13(4): 305-320. <https://doi.org/10.1023%2Fb%3Ajogc.0000035524.66944.6d>
- Lewis, J., J. Leach & C. Wood-Robinson.** 2000. All in the genes? young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological education* 34(2): 74-79. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655689>
- Lewis, J. & U. Kattmann.** 2004. Traits, genes, particles and information: re visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education* 26(2): 195-206. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Lewontin, R.** 1972. The apportionment of human diversity. pp. 381-398. In: *Evolutionary Biology*. New York, Springer.

- Libarkin, J., S. Thomas & G. Ording.** 2015. Factor Analysis of Drawings: Application to college student models of the greenhouse effect. *International Journal of Science Education*, 37(13): 2214–2236. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1074757>
- López Beltrán, C., P. Wade, E. Restrepo & R. Ventura Santos.** 2017. Genómica mestiza. *Raza, nación y ciencia en Latinoamérica*. Ciudad de México, Fondo de Cultura Económica.
- Márquez, C.** 2002. Dibujar en clase de ciencias. *Aula de Innovación educativa* 117: 54-57.
- Márquez, C., M. Izquierdo & M. Espinet.** 2006. Multimodal science teachers' discourse in modeling the water cycle. *Science Education* 90(2): 202-226. <https://doi.org/10.1002/sce.20100>
- Martí, E. & J. Pozo.** 2000. Más allá de las representaciones mentales: la adquisición de los sistemas externos de representación. *Infancia y Aprendizaje* 23(90): 11-30.
- McChesney, K.** 2015. Teaching Diversity: The Science You Need to Know to Explain Why Race Is Not Biological. *Sage Open*, 5(4). <https://doi.org/10.1177/2158244015611712>
- Murtonen, M., C. Nokkala & T. Sodervik.** 2020. Challenges in understanding meiosis: Fostering metaconceptual awareness among university biology students. *Journal of Biological Education* 54(1): 3–16. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1538016>
- Neuendorf, K.** 2019. Content analysis and thematic analysis. pp. 211-223. In: *Research methods for applied psychologists: Design, analysis and reporting*. New York, Routledge.
- Niemonen, J.** 2008. Antiracist education. pp. 73-76. In: *Encyclopedia of race, ethnicity, and society*. Los Angeles, SAGE Publications.
- Oh, P. & S. Oh.** 2011. What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education* 33(8): 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Orozco Marín, Y. & S. Cassiani.** 2021. Enseñanza de la Biología y lucha antirracista: Posibilidades al abordar la alimentación y nutrición humana. *Revista de Educación en Biología* 24(1): 39-54.
- Pérez, G.** (2021). La regulación metacognitiva de los obstáculos epistemológicos en la construcción de modelos de biología evolutiva en la escuela media. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6792_Perez
- Pérez, G. y González Galli, L.** (2024). Metacognitive reflections on essentialism during the learning of the relationship between biology and the human race. *Metacognition Learning*, 19, 1035-1064. <https://doi.org/10.1007/s11409-024-09394-x>
- Peart, D.** 2021. Hand drawing as a tool to facilitate understanding in undergraduate human biology: a critical review of the literature and future perspectives. *Studies in Science Education* 1–13. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1913321>
- Puig, B. & M. Jiménez Aleixandre.** 2015. El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias. *Eureka* 12 (1), 55-65.
- Relethford, J.** 2012. *Human population genetics*. New Jersey, Wiley-Blackwell.
- Ruiz González C., E. Banet & L. López Banet.** 2017. Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre Herencia Biológica: implicaciones para su enseñanza. *Eureka* 14(3): 550-569.
- Sesardic, N.** 2010. Race: a social construction of a biological concept. *Biology & Philosophy* 25(2): 143-162. <https://doi.org/10.1007/s10539-009-9193-7>
- Silva, A., A. Gouvêa Silva & F. Franco.** 2020. Utilização de conceitos evolutivos como contraponto a manifestações xenofóbicas. *Investigações em Ensino de Ciências* 25(3): 70-85. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p70>

- Stern, F.** 2020. Secondary School Students' Teleology and Essentialism Conceptions in the Context of Genetics (Tesis Doctoral). University of Geneva. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:144113>
- Templeton, A.** 2019. Human Population. Genetics and Genomics. London, Academic Press.
- Tsui, C. & D.** Treagust. 2013. Multiple Representations in Biological Education. New York, Springer.
- Wade, P.** 2014. Raza, ciencia, sociedad. Interdisciplina 2(4): 35-62. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.4.47204>
- Waldrip, B., V. Prain & J. Carolan.** 2006. Learning Junior Secondary Science through Multi-Modal Representations. Electronic Journal of Science Education 11(1): 87-107.

Editor Científico / Scientific Editor: Maria Elice Brzezinski Prestesi, Universidad de São Paulo – São Paulo – Brasil

Recebido / Recibido / Received: 07.10.2024

Revisado / Revised: 14.07.2024

Aceito / Aceptado / Accepted: 08.05.2025

Publicado / Published: 02.06.2025

DOI: 10.5216/rbn.v22iesp.80777

Dados disponíveis / Datos disponibles / Available data: Repository not informed

