



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**

Educadora de educadores

**IDENTIFICACIÓN DE LAS DIFICULTADES CONCEPTUALES EN LA
COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE GEN Y LA EXPRESIÓN DE RASGOS
HEREDABLES A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE UN INSTRUMENTO
ESTANDARIZADO EN ESTUDIANTES DE PRIMEROS SEMESTRES DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

[Trabajo de Grado]

Presentado por: Luis Felipe Hernández Villamizar

Dirigido por: Guillermo Fonseca Anaya

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

ESPECIALIZACIÓN EN PEDAGOGÍA

BOGOTÁ D.C.

2021

“La educación es lo que sobrevive cuando todo lo aprendido se olvida”

Burrhus Frederic Skinner

*Para Consuelo, Margarita y Luz Marina por su apoyo incondicional y creer en mi
trabajo, cuando muchas veces dudé de él*

Tabla De Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO.....	3
1. Desarrollo del pensamiento en genética: Aproximación histórica y desarrollo de las diferentes concepciones de gen dentro de la biología	3
2. Consideraciones para la enseñanza de la genética desde la didáctica de la biología.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	19
ANTECEDENTES.....	23
OBJETIVOS	26
METODOLOGÍA.....	27
1. Identificación de la población del estudio:.....	28
2. Selección, obtención y adecuación del instrumento:	28
3. Compilación y análisis de los datos:	31
RESULTADOS	32
1. Selección y adaptación del instrumento.....	32
2. Caracterización sociodemográfica de la población estudiada.....	34
3. Contexto académico de la población estudiada.....	35
4. Resultados del instrumento por grupo docente y por grupos de carreras.....	37
5. Resultados del instrumento aplicado a nivel de pregunta y de los diferentes campos conceptuales de la genética	40
DISCUSIÓN	43
CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
ANEXOS.....	56
A. INSTRUMENTO PARA LA EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS EN GENÉTICA (GLAI) (* para las respuestas correctas)	56
B. TABLAS DE DATOS	67

INTRODUCCIÓN

La genética se ha construido a partir de muchos aportes históricos y científicos como una de las disciplinas más nombradas de la ciencia moderna. Su alusión en cualquier medio de comunicación es bastante frecuente en temas de actualidad tales como: la aplicación de terapia génica para el tratamiento de diferentes patologías; hallazgos de nuevas variantes génicas que son factores de riesgo para diferentes tipos de cáncer; o la influencia de los factores hereditarios sobre la personalidad, el desarrollo de diferentes habilidades, e inclusive la orientación sexual. El conocimiento que brinda para la comprensión de la biodiversidad, y las diferentes formas de vida, a través de los diferentes campos de las ciencias biológicas, así como las repercusiones económicas, sanitarias y éticas que a menudo tienen este tipo de hallazgos, hacen del estudio de la genética algo pertinente, relevante, oportuno y necesario.

De acuerdo con Diez de Tancredi & Caballero (2004, p. 114); y Bugallo (1994, p. 155), en la enseñanza de la biología, el uso de representaciones externas es frecuente para presentar información a los estudiantes sobre conceptos genéticos estructurantes como gen y fenotipo. Sin embargo, estas representaciones pueden guiar a los estudiantes a errores conceptuales, que pueden consolidarse durante su formación profesional, y es labor del docente al retroalimentar su práctica encontrar los ejes temáticos de mayor dificultad, de manera tal que pueda buscar formas más efectivas de superar estas dificultades.

Por esto mismo, tratar de conocer las imágenes externas sobre los conceptos de gen y fenotipo, así como las dificultades conceptuales que los apañen pueden permitir formular mejores maneras de enseñar sus contenidos ya que estos conceptos son de alta dificultad para estudiantes de diversos niveles educativos, así mismo, estos conceptos son transversales a

diferentes ramas del conocimiento como biología molecular, biología celular, evolución, biomedicina y bioquímica, que muchas veces solo son tratados con énfasis desde el punto de vista Mendeliano, perdiendo otra perspectiva muy amplia que implica la regulación de la expresión del fenotipo, la cual está condicionada en función de las variables ambientales y el tiempo. De acá, la pertinencia de este estudio de carácter mixto, el cual permitirá identificar las dificultades conceptuales que presenta una muestra de estudiantes de primeros estudiantes universitarios, de diferentes carreras, después de haber cursado un módulo introductorio a la genética.

MARCO TEÓRICO

1. Desarrollo del pensamiento en genética: Aproximación histórica y desarrollo de las diferentes concepciones de gen dentro de la biología

Pensar en la genética como una disciplina que nace de la biología, invita a pensar en sus orígenes, ya que fue hasta 1905 cuando se emplea por primera vez este término por el biólogo inglés William Bateson, en una carta dirigida a su colega Adam Sedwick, para designarla como “La ciencia de la herencia y la variación” (Gayon, 2016, p. 226). Sin embargo, a pesar de ser una disciplina relativamente reciente comparada con otras ciencias, la naturaleza heredable de los rasgos ha sido comprendida por los seres humanos desde hace miles de años, llevándolos así a aplicar la genética en prácticas cotidianas y ancestrales como la agricultura y la domesticación de plantas y animales, con el fin de incrementar y mejorar la producción de características deseadas (Pierce, 2009, p. 3).

Cuando se dialoga alrededor de las implicaciones en la enseñanza de los conceptos de “herencia” y “variación” durante las últimas décadas, dos nombres saltan a la vista con gran facilidad, los cuales fungieron como piedra angular de la disciplina después conocida como “Genética”, la cual fue edificada a partir de los conceptos del Abad agustino de Brunn, Gregor Mendel; y el naturalista británico Charles Darwin, respectivamente.

Darwin fue una de las primeras personas en apreciar que la evolución depende de la existencia de variabilidad heredable dentro de una especie, para que se generen diferencias entre las poblaciones ancestrales y descendientes (Charlesworth & Charlesworth, 2009, p. 757). El modelo pangenético de Darwin prefigura el carácter discreto de factores hereditarios, los cuales denomina “gérmulas”, las cuales podían ser afectadas por la influencia del ambiente sobre los progenitores (Andrade, 2009, p. 71). En este sentido, creía que las condiciones de vida influyen

en la generación de modificaciones heredables en la constante reconstitución de las células germinales de los seres vivos (Andrade, 2009, p. 74).

Sin embargo, mucho se discute frente al hecho que, la teoría de Darwin carecía de un modelo que explicara consistentemente los mecanismos de herencia de la selección artificial sobre la variabilidad generada en diferentes animales y plantas domésticos, a lo cual refiere en su trabajo publicado en 1868, ya que no estaba familiarizado con el trabajo de Mendel publicado dos años antes del suyo, en 1866.

Por otra parte, Gregor Mendel se denomina por algunos como “el padre de la genética”, debido a su trabajo titulado “Experimentos de híbridos en plantas”, en el cual se describen los principios básicos para la transmisión de caracteres hereditarios. Es importante entender el contexto en el cual se desarrolló este trabajo, ya que, al igual que otros, Mendel optó por la vida clerical con el fin de acceder a una mejor formación académica.

Después de estudiar en la Universidad de Viena, Mendel fue encargado por su comunidad para resolver varios problemas de horticultura relacionados con la depuración de cepas para la producción de Semillas en la abadía de Brunn (Usaquén, 2009, p. 81). Debido a lo cual, después de 10 años de un sistemático proceso investigativo, culmina su obra a partir del planteamiento de los principios de segregación y segregación independiente de caracteres (Usaquén, 2009, p. 81).

De acuerdo con lo anterior, es importante comprender que el problema abordado por Mendel era de carácter práctico, por lo cual responde a una pregunta biológica a través de un riguroso análisis matemático y estadístico, generando modelos teóricos para el principio de segregación. A pesar de esto, en contraposición a la situación en la que se encontraba Darwin, sus experimentos carecen por completo de una perspectiva evolutiva, por lo cual no pudieron ser vinculados a la teoría del origen de las especies hasta muchos años más tarde.

El redescubrimiento del trabajo de Mendel fue controvertido, ya que alrededor de 1900 algunos botánicos de la región de Europa central (Hugo de Vries en Países Bajos, Carl Correns en Alemania y Erich von Tsermak en Austria), comprobaron de forma independiente las leyes de Mendel, llegando a extenderlas a otros casos aplicables (Bateson & Mendel, 2013, p. 7).

Sin embargo, el libro publicado por el Bateson en 1902 denominado “Principios Mendelianos de Herencia”, donde traduce el trabajo de Mendel al inglés, así como en su ponencia publicada en 1907, en motivo de la “Tercera Conferencia Internacional de hibridación de plantas”, fueron eventos clave para definir la genética como la nueva ciencia de la herencia basada en las leyes de Mendel; fundándose así la escuela de genética en Cambridge en 1908, a partir de la cátedra de Biología que allí impartía (CSHL Archives, 2020).

En su libro, Bateson introduce conceptos estructurantes de la genética mendeliana, tales como “alelomorfo” (también conocido como “alelo”), “homocigoto” y “heterocigoto”; de forma tal que estos términos refieren que, para características que se transmiten de forma mendeliana, cada individuo tiene exactamente dos variantes físicas del material hereditario, lo cual no había sido considerado por Mendel (Gayon, 2016, p. 226).

Continuando con los aportes lingüísticos y conceptuales en la constitución de la genética mendeliana, se resalta el uso por parte de Hugo de Vries de los conceptos “pangénesis” y “pangén” en su libro “Pangénesis intracelular” de 1889 (Moll, 1889, p. 56). De acuerdo con él, los pangenes son pequeñas partículas hereditarias que se encuentran en todas las células del organismo (Gayon, 2016, p. 226; Moll, 1889, p. 56).

A pesar de acuñar los términos mencionados a partir de la teoría pangenética de Darwin, de Vries rechazaba los postulados Lamarckianos de esta teoría, que consideran la influencia del ambiente sobre las gérmenes, que eran pequeños pedazos de citoplasma de todas las células del

cuerpo, circulantes en el organismo que se almacenaban finalmente en las células germinales (Gayon, 2016, p. 226). Sin embargo, la importancia de estos conceptos radica en la base histórica y conceptual que sentaron, para que en 1909 Wilhelm Johannsen postulara en su libro *Elemente der exakten erblichkeitslehre*, los conceptos de “genotipo” y “fenotipo”, así como el término “gen”, cuya definición se usó como estándar por la comunidad académica hasta la posterior emergencia del concepto molecular de gen.

El concepto de gen postulado por Johannsen surge a partir de una derivación del concepto de genotipo, y es a partir de este del cual debe entenderse. De acuerdo con sus observaciones realizadas en cruces de líneas puras, tanto de cebada (*Hordeum vulgare*), como habichuela (*Phaseolus vulgaris*), encontró que podía separar las líneas puras en distintos grupos (“tipos”, posteriormente denominados “genotipos”), de acuerdo con las características de las semillas que generaban, y a partir de estos predecir las cualidades individuales que tendría cada organismo durante su desarrollo (fenotipo) (Peirson, 2013).

De esta manera, la primera acepción del concepto de gen refiere de una manera instrumentalizada a la unidad de cálculo de los factores mendelianos de herencia que se encontraban en el genotipo de un organismo. A pesar de lo reduccionista que pueda parecer su visión del concepto, marcó un hito en cuanto demostró empírica, matemática y estadísticamente que los genes son entidades reales, a diferencia de aquellas hipotéticas formuladas por anteriores investigadores como fueron las “gérmulas”, “bióforos” o “pangenes” (Roll-Hansen, 2014, p. 1011). A pesar de sus largas investigaciones, como consecuencia de sus limitaciones para comprender la naturaleza misma de estas entidades, en nuevas ediciones de su trabajo publicadas en 1926, reconoce que son “entidades de cálculo, expresión de realidades de naturaleza

desconocida, pero de efectos familiares”, de forma tal que infiere que el genotipo está compuesto de genes (Roll-Hansen, 2014, p. 1011).

Los conceptos de gen y genotipo postulados por Johannsen sentaron la primera base de lo que se conoce como genética clásica, sin embargo, su consolidación no pudo ser efectiva hasta los aportes del conocimiento sobre la morfología de los cromosomas y sus dinámicas en los procesos de mitosis y meiosis (Lipshitz, 2021, p. 217). De esta manera en 1902, Theodor Boveri y Walter Sutton proponen considerar los cromosomas como los portadores de los factores mendelianos, sustentando la base de la ley de segregación y reordenamiento de Mendel (mezcla de factores mendelianos en nuevas combinaciones), a partir del proceso de meiosis, el cual da origen a los gametos de forma tal que 4 células haploides serían el producto de dos divisiones sucesivas de una célula diploide (Gayon, 2016, p. 227).

Lo que se conoció como la “teoría cromosomal de la herencia” generó bastante controversia a principios del S. XX, entre los seguidores de la escuela mendeliana, siendo aceptada y rechazada por diferentes exponentes, incluido el genetista estadounidense Thomas Hunt Morgan, quien no aceptaba esta teoría a inicios del S. XX, pero después de iniciar en 1908 experimentos con la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), articulando la teoría cromosomal de la herencia con la genética mendeliana publica en 1915 uno de los libros más importantes en la historia de la genética: “Mecanismos de Herencia Mendeliana”, y con este, daba lugar al nacimiento de la genética clásica (Gayon, 2016, p. 227).

Esta visión también permite sustentar mecánicamente la primera ley de Mendel, la cual refiere que un cigoto recibirá una versión de un gen particular de cada parental; así mismo explica parcialmente las excepciones que puede presentar la segunda ley, en cuanto esta no aplica para genes localizados en el mismo cromosoma que segregan conjuntamente. A pesar de

lo anterior, contempla el hecho que los cromosomas pueden realizar procesos de *crossing over* que generen recombinación de genes a pesar de que se encuentren en el mismo cromosoma. Este nuevo marco de trabajo brindó una significancia espacial al concepto de gen, ya que cada gen ocupaba una posición precisa, relativa a los demás, comenzando a realizarse cálculos de distancias genéticas a partir de *crossing overs* (Gayon, 2016, p. 277).

Otra noción importante que se desarrolló a partir de la teoría cromosomal fue la de mutación génica, comprobada a partir del uso de rayos X en *Drosophila melanogaster*, en la cual se reconocía que la alteración de un cromosoma a partir de radiación podía transformar un alelo en una variante “mutante” del gen, aún sin conocer la naturaleza material de los genes (Lipshitz, 2021, p. 217). En resumen, es importante considerar el efecto de la reinterpretación de la genética a la luz de la teoría cromosómica, pluralizando la caracterización operacional del gen como una “unidad de herencia”, pero también una entidad sujeta a variar en el tiempo.

Por otra parte, es importante considerar el desarrollo que paralelamente sufría la teoría celular, dentro de la cual, en 1831 se da el descubrimiento del núcleo como el primer organelo identificado en tejidos de orquídeas por parte del médico y botánico escocés Robert Brown, al observar un área más opaca o “areola” dentro de la célula. Algunas décadas después, el estudio de la naturaleza química de las moléculas que componen y tienen acción sobre los entes biológicos, comienza a consolidar el surgimiento de la bioquímica como ciencia interdisciplinar, con la cual se abrieron las puertas a nuevos estudios en la comprensión de la naturaleza química y estructural de los genes.

En 1868, Friedrich Miescher empezó su carrera científica en Tübingen, estudiando células linfáticas humanas a partir de muestras de pus obtenidas de vendajes del hospital local (Blackburn *et al.*, 2006, p. 2). Tras realizar algunos tratamientos a estas células y obtener un

precipitado gris de los núcleos celulares, denominó a la sustancia obtenida rica en fósforo como nucleína (que eran ribonucleoproteínas); sobre la cual comprobó años más tarde que también estaba presente en levaduras, riñón, hígado, testículos y células hematopoyéticas (Blackburn *et al.*, 2006, p. 2).

Años más tarde, tras mudarse a Basel en 1872, encontró en el esperma de salmón una fuente rica en nucleína, la cual tras ser purificada mostraba un comportamiento característico similar al de una sal, cuyo componente básico rico en nitrógeno denominó protamina. Luego de 20 años, Richard Altman obtiene una muestra de este material libre de proteínas, denominando al componente ácido como “ácido nucleico”. Con el desarrollo de técnicas de coloración de tejidos, se comprueba que los núcleos celulares pueden teñirse con el uso de tintes básicos, lo cual lleva a Walter Flemming a aplicar esto en sus estudios de la división celular, la cromatina (denominada así por la coloración característica que poseía), y los cromosomas (fragmentos de cromatina visibles únicamente durante ciertas fases de la división celular). En 1900, Edmund Beecher Wilson confirma la especulación planteada por Flemming, la cual decía que la composición de los cromosomas era de similar naturaleza (si no idéntica), a la nucleína descrita por Miescher, concluyendo que la herencia podría estar afectada por la transmisión física de un compuesto particular desde los parentales a la descendencia.

Un evento importante en el estudio de la composición de los ácidos nucleicos ocurre entre 1885 y 1901, donde el médico, bioquímico y posterior ganador del premio Nobel de 1910, Albrecht Kossel, descubre que los ácidos nucleicos se forman por cinco bases nitrogenadas: guanina [G], adenina [A], timina [T] y citosina [C] y uracilo [U] (Ávila-Medrano *et al.*, 2020, p. 66). Adicionalmente, en 1919 Phoebus Levene identificó que los nucleótidos que forman el material genético se forman por una base nitrogenada, fosfato y un azúcar; y en 1930, Kossel y

su pupilo Levene probaron que la nucleína es un ácido desoxirribonucleico (ADN) formado a partir de nucleótidos que se constituyen por desoxirribosa unida a un grupo fosfato y a alguna de las cuatro bases nitrogenadas (A, G, T y/o C) (Dhanda & Shyam, 2008, p. 2).

El paso definitivo para la conexión entre la genética y la bioquímica fue el paper de Beadle y Tatum de 1941: “Control genético de las reacciones bioquímicas en *Neurospora*”, el cual llevó a entender en los siguientes años que un gen controla cada paso en una ruta metabólica, y a postular la hipótesis “un gen-una enzima” (Gayon, 2016, p. 228). Sin embargo, para la mayoría de los biólogos, los genes también eran proteínas, las cuales eran macromoléculas complejas con excepcionales propiedades catalíticas, a partir de lo cual, el físico Erwin Schrödinger propone una caracterización contundente en su libro *¿Qué es la vida?*, en la cual refiere que un gen es un cristal aperiódico con propiedades excepcionales, en cuanto es heterocatalítico (al igual que una enzima) y autocatalítico (cataliza la reacción que permite su propia replicación) (Gayon, 2016, p. 228).

En el contexto mencionado anteriormente, los experimentos realizados por Oswald Avery, Colin McLeod y Maclyn McCarty; fueron determinantes en cuanto lograron demostrar en 1944 que el ADN es el principio transformador (al contrario de las proteínas, como se creía comúnmente), al lograr transformar una cepa inocua de *Streptococcus pneumoniae* (causante de la neumonía) en una patógena, a partir del ADN purificado de otro cultivo patógeno (Gayon, 2016, p. 228). Sin embargo, el evento clave que revolucionaría la concepción del concepto de gen, que daría paso a una nueva era de estudio del ADN como molécula que lleva la herencia, parte de 1951, cuando el trabajo en cristalografía de rayos X de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins sobre esta molécula plantean una estructura helicoidal para el ADN, y cuyas fotografías

fueron usadas sin permiso y conocimiento por parte Watson y Francis Crick, a quienes se atribuyó durante muchos años el modelo de doble hélice (Tabery *et al.*, 2021).

Este evento marca un punto de inflexión importante en la comprensión del concepto de gen, ya que a hasta 1950 aproximadamente, los biólogos moleculares describen los mecanismos genéticos sin usar el término información. A partir de la comprensión de la estructura del ADN, el auge de la biología molecular durante las décadas siguientes se dedicó al estudio de los mecanismos que subyacen la replicación y la función génica, de forma tal que la palabra *información* facilita nuevas maneras de interpretar lo que constituiría el dogma central de la biología molecular: "... Por tanto, parece probable que la secuencia precisa de las bases sea el *código*¹ que lleva la *información* genética ...” (Watson & Crick, 1953b, p. 244, énfasis agregado).

Cuando Crick postula el dogma central de la biología molecular en 1958 sienta las bases para comprender el flujo de la información génica, el cual puede ser de ácido nucleico a ácido nucleico, o de ácido nucleico a proteína (más tarde refinado por la clásica concepción de: ADN → ARNm → Proteína) (Tabery *et al.*, 2021). A principios de los 60's, Seymour Benzer desarrolló el concepto de mutación puntual, a partir del uso del bacteriófago T4, con el cual comprobó que las mutaciones podían ocurrir en diferentes regiones de un mismo gen, demostrando así que los genes no son unidades indivisibles, sino que se están formados por arreglos lineales de nucleótidos, los cuales constituyen la unidad mínima de mutación. Estos experimentos disolvieron la idea tradicional de gen como unidad de función, de recombinación y

¹ Es importante no confundir el código genético con la información genética. El código genético se refiere a la relación entre tres bases de ADN, llamadas "codón", y un aminoácido. Por el contrario, la información genética se refiere a la secuencia lineal de codones a lo largo del ADN, que (en el caso más simple) se transcriben en ARN mensajero, que se traducen para ordenar linealmente los aminoácidos en una proteína.

de mutación (Anderson & Brenner, 2008, p. 139). Por lo tanto, una vez aclarado el código genético y rastreada la relación entre los genes y sus productos moleculares, a finales de la década de 1960 parecía que el concepto de gen estaba seguro en su conexión entre su estructura y función, y en cuanto la maquinaria de síntesis de proteínas traducía linealmente la información del código genético a cadenas de aminoácidos, o proteínas.

De acuerdo con Gayón (2016, p. 228 y 229) y Tabery *et al.*, (2021), a pesar de que esta definición ha prevalecido durante más de cinco décadas, la visión de gen como una secuencia de ADN que codifica una cadena polipeptídica ha sido sujeto de revisión a través de los años, ya que los descubrimientos y razonamientos progresivos desde la década de los 60 y el surgimiento de las tecnologías de ADN recombinante rompieron el paradigma de colinearidad que se contemplaba, ya que:

- El concepto de gen entra en tensión en cuanto debería considerarse únicamente la región estructural, o también sus secuencias reguladoras (promotores, operadores y represores). Más aún cuando se describe el caso del operón lactosa, en el cual la secuencia operadora se sobrepone con el sitio operador, y este a su vez con la secuencia del primer gen estructural (β -galactosidasa).
- Las secuencias de ADN que determinaban las secuencias de ARNr o ARNt no codifican para proteínas, y aún así son elementos clave y esenciales para la expresión génica.
- Se descubren los genes superpuestos, ya que dos cadenas de aminoácidos podían sintetizarse a partir de una misma secuencia de ADN, dependiendo del punto de partida del marco de lectura.

- Se descubren los genes “fragmentados”, y con ellos se entendió que en organismos eucariotas los tramos de ADN se podían dividir entre regiones codificantes (exones) y no codificantes (intrones).

Las anteriores consideraciones hicieron difícil y ambigua la consolidación de una definición molecular de gen, la cual no pudo llegar a un consenso a diferencia de la definición de gen dada por la genética clásica.

2. Consideraciones para la enseñanza de la genética desde la didáctica de la biología

Si se piensa la noción de didáctica como un sustantivo, se piensa, de acuerdo con Astolfi (1997), en un campo de estudio y análisis de fenómenos de enseñanza -aprendizaje, en relación con un contenido de aprendizaje bien justificado. Sin embargo, si se piensa en la noción de didáctica en alguna de las ciencias naturales, tal como la biología, se pueden encontrar varios conflictos que se presentan desde las diferentes acepciones de didáctica de las ciencias, en el modelo del triángulo didáctico postulado por Astolfi (1997), y en la relación entre la didáctica de la ciencia y su ciencia de referencia. Siempre que se entienda la didáctica de las ciencias como aquella que trata de elaborar unos conocimientos nuevos sobre el sistema de enseñanza, sobre modalidades y condiciones de su funcionamiento.

La didáctica de la biología, al igual que la didáctica de otras ciencias, responde a un movimiento que presenta 3 características principales: campos conceptuales delimitados, los contenidos de la enseñanza están en construcción por parte del enseñante y la creación de nuevos conceptos para permitir la construcción de los contenidos de enseñanza. Tomando en cuenta lo anterior, los conceptos en la didáctica de la biología se han dado bien sea por importación de

otros dominios para su transformación y rectificación, o creados *de novo* para satisfacer las necesidades teóricas de análisis en el campo considerado.

La investigación en didáctica de la biología se enfrenta a varios escenarios, que se pueden observar a partir de las diferentes acepciones del concepto de didáctica:

1. Epistemológicamente, la fijación de contenidos y la definición de conceptos se ha visto transformada por los diferentes currículos y escuelas de pensamiento a través de la historia. Si se toman como ejemplo el concepto de gen, el cambio de noción que ha tenido este en el último siglo, pasando de ser considerado como material heredable a unidad estructural del genoma, lleva a la idea de que este concepto tuvo que ser pensado dentro de muchos contextos y momentos diferentes, para poder aproximarlos a un concepto apropiado para el currículo.

2. Psicológicamente, el asunto es relativo incluso dentro de la propia didáctica de la biología. Algunos investigadores señalan que, entre los contenidos biológicos, aquellos que ocupan una mayor atención en la enseñanza de la biología entre investigadores y docentes son los conceptos relacionados con la genética, pues se basan en objetos teóricos contruidos dentro de sistemas conceptuales abstractos e hipotéticos deductivos, en los cuales se han basado para intentar comprender sus funciones dentro de los seres vivos (de Tancredi, 2006). Retomando el ejemplo del concepto de gen, algunas investigaciones señalan que, en estudiantes de diferentes niveles educativos, la comprensión de los conceptos de gen, ADN y cromosoma requieren tener conocimientos previos que vengan de otras ciencias, como la química, que les permitan tener conocimientos de estructura, para llegar a comprender la molécula de ADN, como constituyente del gen y del cromosoma (Pino, 2003).

3. Pedagógicamente y praxiológicamente, los problemas se encuentran orientados hacia la posibilidad de innovación en la enseñanza. Es decir, no solo se deben tener consideraciones respecto a la tarea del docente en la organización de las situaciones de enseñanza en función del tipo de público, debido a que estas organizaciones responden en muchas ocasiones a obstáculos de infraestructura física, o de organización curricular. Es claro que la enseñanza de una ciencia como la biología requiere de un componente práctico profundo, en donde se puedan traer a lugar todos los conceptos que en el aula de clase queden relegados a una concepción abstracta, sin embargo, esto requiere la disposición de espacios para desarrollarlas, y la capacidad del docente para impartirlas.

La enseñanza de los contenidos biológicos requiere conocer y reflexionar sobre los diversos aspectos del sistema educativo, la escuela, el aula y los contextos socioculturales en los cuales se desarrollan las prácticas docentes. Las nuevas tendencias proponen incorporar en forma paulatina a los estudiantes en las instituciones en las que se desempeñarán como profesores, como así también, dotarlos de un amplio abanico de estrategias y recursos para afrontar la diversidad y las nuevas demandas juveniles, tal es el caso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (Rassetto, 2018).

En este sentido, la didáctica de la biología requiere un desarrollo constante y cada vez más consideraciones particulares en la amplia variedad de saberes que la conforman. Para la didáctica de la biología, así como de otras disciplinas, la formación del docente requiere de aprehender sobre las necesidades, recursos y limitaciones, para poder utilizar de la forma más efectiva, las competencias que se dispongan en el medio local, con relación a las cuestiones inter- e intradisciplinarias.

Por otra parte, si se observa el escenario planteado desde la didáctica de la genética, de acuerdo con lo postulado por Bahar (1999), la dificultad en la comprensión de los temas de genética yace en la complejidad de sus ideas, y que sus conceptos existen en 3 niveles diferentes de pensamiento: macro (fenotipo), micro (genes y alelos) y representacional (símbolos de representación). De acuerdo con esto, un problema de genética concreto, p.e. el color de los pétalos de una flor, tiene varios niveles de representación que se enseñan de forma separada y cuya articulación depende en gran medida de la capacidad de abstracción del estudiante y de generar conexiones entre estos conceptos. Siguiendo el ejemplo anterior, los niveles de estudio del color de los pétalos de una flor podrían representarse de la siguiente manera:

- a. Macro: Los pétalos de la flor tienen un fenotipo de color rojo. Este nivel es de carácter descriptivo, sin embargo, es particularmente práctico para entender visualmente cuáles son los efectos determinados que puede tener la expresión de un gen determinado y sus diferentes variantes, así como los efectos de la regulación de su expresión.
- b. Micro: El color rojo de los pétalos está determinado por:
 - i. Un gen que tiene la información para sintetizar la cadena polipeptídica de la proteína que permitirá la biosíntesis del pigmento que da el color a la flor.
 - ii. Un alelo particular del gen que codifica para ese rasgo, el cual generalmente es de herencia mendeliana. Este alelo particular es una variante del gen de interés, y su variación puede darse en la secuencia de nucleótidos del gen y su tamaño.
- c. Representacional: Dependiendo del tipo de problema enseñado, el modelo representacional será diferente: Si se estudia el tipo de herencia que tiene este tipo de gen a partir del desarrollo de problemas clásicos de tipo mendeliano, es probable que se represente usando las representaciones de cuadros de Punnett (Fig. 1A). Sin embargo, si

se habla en términos de expresión génica o la regulación en la expresión de los caracteres de la flor por señales endógenas o ambientales, los modelos representacionales serán dirigidos a la ilustración del gen y sus elementos reguladores, en forma de figuras y secuencias que ilustren estos eventos (Fig. 1B), o inclusive la ruta biosintética del pigmento.

De acuerdo con lo anterior, es importante ver que el concepto de gen, igual en durante su evolución histórica, sufre diferentes transformaciones pedagógicas para adaptar su enseñanza a contextos particulares, por ejemplo, inicialmente se enseña la noción de gen en un contexto mendeliano, representándose como una unidad de herencia de los progenitores a sus descendientes, la cual se encuentra en los cromosomas, que puede tener variantes (alelos), lo cual llega a generar fenotipos diferentes. A nivel molecular, se representa como una secuencia de nucleótidos, cuya expresión puede regularse, que posee ciertos elementos reguladores y codifica para un producto funcional (ARN). A nivel evolutivo y sanitario el gen puede ser visto como un elemento susceptible de cambio o mutaciones en su estructura o secuencia, lo cual puede resultar en ventajas o desventajas particulares con cierto porcentaje de representación a nivel poblacional.

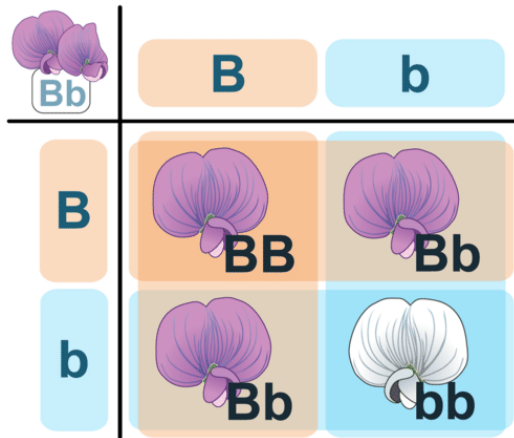
Es importante entender que la distinción realizada previamente se da en términos pedagógicos, más que disciplinares, pues la enseñanza de este tipo de conceptos referentes a entidades abstractas puede requerir que el didacta haga uso de diferentes herramientas para facilitar su enseñanza y aprendizaje. Por ejemplo, de acuerdo con lo postulado por Pino (2003); Juárez et al. (2005) y Champagne-Queloz et al., (2017), parte de los problemas para articular ambas nociones de gen yacen en los vacíos conceptuales que tienen los estudiantes en otras áreas

del conocimiento, particularmente la química, que brinda las herramientas para para contemplar una visión estructural del concepto de gen.

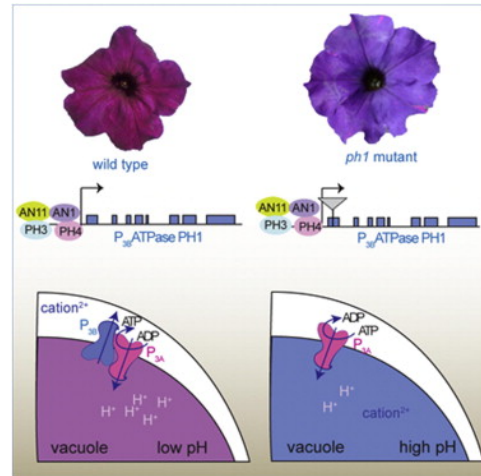
Figura 1.

Representación mendeliana (A) y molecular (B) de la expresión fenotípica del color de una flor.

A.



B.



Tomado de <https://www.ck12.org/na/Cuadros-de-Punnett-1/lesson/Cuadros-de-Punnett/>

Tomado de Faraco et al., (2014)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En biología, al igual que en otras ciencias, existen conceptos clave o estructurantes sobre los cuales se identifica un conocimiento más integral y complejo, dentro de los cuales se incluye el concepto de gen. Este concepto ha pasado por procesos de cambio y transformaciones, de forma tal que ha sido considerado por algunos autores como uno de los referentes o conceptos marco de la ciencia en el siglo XX (Diez de Tancredi, 2006, p. 191). En la enseñanza formal de la biología, los contenidos de gen y su función son tratados en una amplia variedad de investigaciones educativas en las que se han realizado diferentes tipos de desarrollos institucionales, y así mismo se han elaborado una variedad de materiales didácticos donde se emplean imágenes externas, analogías, proposiciones, entre otros; sobre los cuales se han creado y aplicado actividades y estrategias para mejorar su enseñanza. Lo anterior, con el objetivo de favorecer en el estudiante la creación de representaciones mentales adecuadas para lograr un aprendizaje significativo (Diez de Tancredi, 2006, p. 192).

Aquellos contenidos biológicos relacionados con la genética ocupan una mayor atención de docentes e investigadores en la enseñanza de la biología, puesto que los conceptos genéticos se basan en entidades teóricas construidas dentro de sistemas conceptuales abstractos, hipotéticos deductivos, para los cuales los investigadores han derivado mecanismos para comprender su funcionalidad en los sistemas vivos. Numerosos autores alrededor del mundo han generado varias discusiones alrededor del conflicto epistemológico que surge de la definición de este concepto, así mismo otros han identificado que para mejorar el aprendizaje en genética, es necesario evaluar primero la comprensión de los estudiantes de los conceptos genéticos, así como el nivel de conocimiento o “alfabetización” con el que cuentan respecto a estos tópicos (Bowling et al., 2008, p. 15).

Durante las últimas décadas en Colombia, la enseñanza del este tipo de conceptos no se ha pensado en términos más allá de una estructura curricular basada en las demandas económicas y sociales, en términos del valor de estos saberes en la cotidianidad y en la práctica. Sin embargo, debido al grado de abstracción de estos conceptos y la controversia que existe respecto al poco consenso que hay en su definición, es de estimarse que su enseñanza puede ser igual de problemática. Por este motivo, el trabajo de grado a desarrollar, tiene como propósito reconocer cuales son las dificultades que tienen los estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá, de primeros semestres de carreras que deben tomar cursos básicos en biología y genética, en la comprensión del concepto de gen y su función, debido a que esta población estudiantil puede representar una muestra variada de sujetos que provienen de diferentes instituciones educativas dentro de la ciudad de Bogotá e incluso a nivel nacional. Este estudio piloto, puede ser el primer paso para identificar elementos comunes en la malinterpretación de estos conceptos, que traen desde su formación en secundaria y que no han logrado ser corregidos apropiadamente en su ingreso a la educación universitaria.

Para cumplir con el objetivo de este trabajo se realizará la elaboración de un instrumento para coleccionar la información de las posibles dificultades que atraviesan los diferentes estudiantes en la comprensión de estos conceptos, así como se contrastará con los resultados obtenidos con la misma investigación en estudiantes de últimos semestres del programa de biología, con la finalidad de comprender qué parte de los problemas encontrados podría ser asociada al proceso de aprendizaje del estudiante, y qué parte al proceso de enseñanza por parte del maestro.

En este sentido, al ser una investigación cuyo objeto de estudio es el estudiante y su comprensión de un concepto estructurante de un saber disciplinar como la biología; la cual será desarrollada fuera del aula, puede considerarse como una investigación de carácter pedagógico, en

la medida que los maestros se constituyen en analistas de su quehacer, en auto-observadores de lo que sucede en sus aulas de clase, en investigadores de los objetos de conocimiento disciplinares que ponen en juego pedagógicamente y en profesionales que aportan saber y conocimiento a la pedagogía, de forma tal que la investigación pedagógica se constituye en un medio para la inserción del maestro en la toma de conciencia de sus prácticas y en las “gramáticas” que subyacen a los saberes y su forma de circulación (Munevar & Quintero, 2000, p. 46; Calvo, Abello, & Báez, 2008, p. 166). De esta forma, se diferencia de una investigación de carácter educativo, en la medida que se puede entender la investigación en educación como aquella producción de conocimiento que se ubica en los términos más amplios de la vida social e involucra campos teóricos y disciplinares de diferentes ciencias de la educación (Calvo et al., 2008, p. 167).

Como investigador que contribuye a la discusión en torno al aprendizaje de un saber relacionado a la disciplina que imparte en el aula de clase, se espera contribuir a la reflexión en torno a la enseñanza universitaria de estos conceptos, limitado claramente al contexto educativo colombiano de la educación pública sometido al diseño curricular de las diferentes asignaturas ofertadas por el departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, por lo cual si se espera poder realizar generalización a partir de los hallazgos realizados se tendría que realizar un estudio a nivel general en diferentes instituciones de educación superior tanto públicas como privadas, para hallar en conjunto los problemas conceptuales en la comprensión del concepto de gen y su función, así como delimitar hasta que punto el problema pertenece a una discusión epistemológica del término, o a su enseñanza propiamente.

En consecuencia con lo mencionado anteriormente, el concepto de gen es considerado como un concepto clave de la biología, sobre el cual se fundamenta la mayoría de los conocimientos actuales de esta ciencia. Esto se puede evidenciar en campos del saber como la

biotecnología, biodiversidad, evolución, clonación, biotecnología, entre otros, donde su comprensión es esencial para comprender la relación entre el conocimiento científico, tecnología y su repercusión en la sociedad, lo cual es en últimas la motivación del trabajo de grado a desarrollar

ANTECEDENTES

Tabla 1. *Búsqueda bibliográfica de antecedentes de instrumentos usados para analizar las dificultades conceptuales en genética.*

Título	Autor(es)/ año / IA	Pregunta de Investigación	Metodología - Instrumento	Resultados-Aportes	Conclusiones
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Revisando dificultades de aprendizaje en Biología - (<i>Revisiting learning difficulties in biology</i>)</p>	<p style="text-align: center;"><i>Bahar, M.</i> (1999)</p> <p style="text-align: center;">Universidad de Glasgow (Escocia)</p>	<p>¿Después de 15 años, ha cambiado la percepción estudiantil de los temas más difíciles en la enseñanza de la biología?</p>	<p>Muestra de 207 estudiantes universitarios de primer año, que cursaran alguna asignatura de biología, asignaron un nivel de dificultad a distintos temas las clases en una encuesta. Se realizaron entrevistas a una submuestra de estudiantes, para comprobar cuáles eran las dificultades intrínsecas y de presentación en temas de genética.</p>	<p>Los temas que más dificultades presentan los estudiantes para aprender son aquellos relacionados con genética. Respecto al uso del lenguaje, encuentran confuso el uso de términos similares como homología, homólogo, homocigosis, homocigoto, así como de temas similares (mitosis y meiosis). Profesores como alumnos refieren que el tiempo de enseñanza no es suficiente.</p>	<p>La dificultad en la comprensión de los temas estudiados yace en la complejidad de sus ideas, y que sus conceptos existen en 3 niveles diferentes de pensamiento: macro (fenotipo), micro (genes y alelos) y representacional (símbolos de representación), relacionados a manera de triángulo. A pesar de que el profesor pueda moverse con facilidad entre estos niveles, se recomienda que se desarrollen los procesos de pensamiento un nivel a la vez, para que pueda asociar conceptos entre ellos progresivamente.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Desarrollo y evaluación de un instrumento de valoración de alfabetización en genética para estudiantes de pregrado (<i>Development and Evaluation of a Genetics Literacy Assessment Instrument for Undergraduates</i>)</p>	<p style="text-align: center;"><i>Bowling et al.,</i> (2008)</p> <p style="text-align: center;">Universidad de Cincinnati (USA)</p>	<p>El instrumento fue desarrollado con la intención de usarlo como una medida estandarizada del conocimiento de los estudiantes sobre conceptos genéticos que son particularmente relevantes para sus vidas académicas y personales.</p>	<p>Se desarrolló un test de 31 preguntas de selección múltiple que contenía 17 conceptos considerados como centrales en la enseñanza de la genética. El instrumento fue revisado por 25 profesionales y educadores del área de genética. Este, se evaluó en una muestra aproximada de 400 estudiantes de pregrado en 8 cursos introductorios de biología y genética. La validez de contenido, la validez discriminante, la confiabilidad interna y la estabilidad del instrumento fueron consideradas.</p>	<p>Se reportó la dificultad de ítem y sus valores de discriminación para cada pregunta. Los ítems tuvieron un rango de dificultad que variaba entre el 17%-80%, con un promedio de 43%. Tener elementos de dificultad variable aumentó la capacidad del instrumento para discriminar en todos los niveles de conocimiento de los estudiantes. Esta variación también sugirió que las preguntas eran apropiadas para los estudiantes de pregrado en nivel básico. El rango en los puntajes de dificultad de los ítems también implica que los estudiantes entienden algunos conceptos mejor que otros antes de ingresar a un curso introductorio de biología o genética.</p>	<p>La evaluación del instrumento indicó que es razonable para medir la alfabetización genética de los estudiantes antes y después de un curso introductorio de biología o genética. El uso de un instrumento como este puede proporcionar a los instructores una idea del conocimiento que poseen los estudiantes y puede ser útil para planificar mejor la enseñanza de estos conceptos.</p>

<p>Evaluación del razonamiento científico en genética de estudiantes de secundaria usando un instrumento de diagnóstico de 2 niveles (<i>Evaluating Secondary Students' Scientific Reasoning in Genetics Using a Two-Tier Diagnostic Instrument</i>)</p>	<p>Tsui & Treagust, (2010) Universidad de Tecnología Curtin (Australia)</p>	<p>Diseñar, refinar, mejorar e implementar un instrumento para evaluar la comprensión de la genética en estudiantes de secundaria de 3 escuelas de la ciudad (Perth).</p>	<p>En una prueba de dos niveles, el primer nivel le pide a un estudiante que elija un conocimiento de contenido específico; y el segundo nivel le pregunta al alumno sobre el motivo o la explicación de su elección en el primer nivel. La aplicación del instrumento se realizó en 2 momentos, previo al aprendizaje y posterior al aprendizaje, un pre-test de 11 preguntas y un post-test de 8 preguntas, de doble nivel cada uno. La prueba se aplicó a 82 estudiantes comprendidos entre los grados 10° y 12° entre las 3 escuelas.</p>	<p>El razonamiento de genotipo a fenotipo (causa a efecto) pareció ser más fácil para los estudiantes que el razonamiento de fenotipo a genotipo (efecto a causa); y el razonamiento dentro de las generaciones más fácil en comparación con el que existe entre generaciones. El razonamiento de fenotipo a genotipo entre generaciones pareció ser el razonamiento proposicional más desafiante para los estudiantes. Dentro de los tipos de razonamiento, el razonamiento del proceso parecía ser más desafiante para los estudiantes que los razonamientos de tipo proposicional.</p>	<p>El instrumento de diagnóstico de dos niveles es confiable para descubrir la comprensión o el malentendido de la genética de los estudiantes en términos de su razonamiento científico. Los análisis de pedigrí humano aún pueden ser útiles en la enseñanza de la ciencia en secundaria para el aprendizaje del razonamiento científico por parte de los estudiantes. Los problemas de genética mendeliana no solo pueden motivar el aprendizaje del razonamiento científico básico, sino que estos problemas también pueden ser útiles para extender el aprendizaje de los estudiantes sobre el razonamiento a otros dominios del conocimiento. Aunque muchos estudiantes en este estudio conceptualizaron el gen como información, los resultados mostraron que la mayoría de ellos no entendían cómo se usa la información para producir un rasgo.</p>
<p>Diagnóstico de los conceptos erróneos de los estudiantes utilizando el ICB: un método para realizar una evaluación de necesidades educativas (<i>Diagnostic of students' misconceptions using the BCI: A method for conducting an educational needs assessment</i>)</p>	<p>Champagne-Queloz, Klymkowsky, Stern, Hafen, & Köhler, (2017) Escuela Politécnica Federal de Zúrich (Suiza)</p>	<p>Usar el ICB para identificar áreas particulares donde la instrucción específica puede ser útil para promover y mejorar una comprensión conceptual por parte de los estudiantes, hacia temas relacionados a la biología.</p>	<p>A diferentes cohortes que comprenden 475 estudiantes de "gimnasios", se les realizó la aplicación del instrumento. Se realizó la comparación de los puntajes entre los grupos de participantes, así como los puntajes individuales de los estudiantes usando un test no paramétrico (Kruskal-Wallis). Las comparaciones de rendimiento de los participantes se llevaron a cabo comparando el grado de exactitud (más frecuentemente llamado dificultad del ítem*) de cada ítem ICB.</p>	<p>La principal ventaja del ICB es su gran diversidad de preguntas relacionadas con diferentes conceptos biológicos, que los estudiantes pueden completar en solo 30 minutos en clase y, por lo tanto, proporcionan una visión general de su comprensión conceptual en biología. Dado que el ICB se construyó sobre conceptos erróneos de los estudiantes universitarios, este estudio reveló importantes malentendidos en temas relacionados con la genética, la bioquímica y la evolución en estudiantes de últimos años de gimnasio, muchas veces dados por la desinformación que generan los medios sobre estos temas.</p>	<p>Usando el ICB, se mostró que muchos estudiantes se sintieron atraídos por conceptos erróneos populares sobre cuestiones relacionadas con procesos evolutivos, interacciones y estructuras de moléculas. En algunos casos, esto parece deberse a la falta de énfasis en la relevancia de la instrucción de conocimientos de física y química para los contextos biológicos. La información obtenida de esta encuesta ayudó y se utilizará aún más para adaptar el programa actual de licenciatura en biología y la educación de los futuros maestros de biología del <i>Gymnasium</i> que se llevarán a cabo en las universidades suizas.</p>

Intentando romper el código en la comprensión de los conceptos genéticos por parte de los estudiantes (*Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts*)

Marbarchad, (2001)
Universidad de Tel Aviv (Israel)

¿Cuál es la relación entre conceptos de genética que tienen los estudiantes de Israel?

Se escogieron 4 poblaciones comprendidas por estudiantes de grado 9°, 12°, estudiantes de licenciatura entre tercer y quinto año y estudiantes de licenciatura a punto de certificar su capacidad de enseñanza. Se usaron 3 instrumentos: Cuestionario escrito, entrevistas (en las cuales debían responder las preguntas del cuestionario escrito a través de un mapa conceptual que debían explicar), y mapas conceptuales (los cuales debían contener 8 ítems: ADN, gen, ARNm, aminoácido, proteína, enzima, rasgo y nucleótido).

Los instrumentos fueron apropiados para reconocer los problemas que tienen los estudiantes en identificar la relación de los conceptos de genética. Un resultado general del estudio muestra que los estudiantes con menor nivel de escolaridad tienden a relacionar con mayor frecuencia los conceptos de gen y rasgo, a diferencia de los estudiantes universitarios, que relacionan más frecuentemente rasgo con ADN. Dentro de los estudiantes de grado 12°, a pesar de los cambios en las temáticas de su enseñanza hacia los dogmas convencionales de la biología molecular (ADN se transcribe a ARN y luego a proteína) **no se evidencian esfuerzos por relacionar los aprendizajes de la genética clásica mendeliana, con los dogmas de la biología molecular**, por lo cual, en muchos casos, la relación de los conceptos ADN-Proteína-Rasgo no eran adecuada.

De acuerdo al grado de escolaridad, la maduración en la relación de estos conceptos se hace más evidente, sin embargo, se hace un énfasis fuerte en la **falta de articulación de las diferentes temáticas de los temas de genética que aprenden los estudiantes a través de los años.**

IA: Institución académica.

ICB/BCI: Instrumento de conceptos biológicos / *Biological Concepts Instrument*.

* El grado de exactitud es la proporción general de estudiantes que eligen la respuesta correcta a una pregunta en particular. Las preguntas más fáciles muestran un mayor grado de exactitud.

OBJETIVOS

Objetivo general: Identificar las dificultades conceptuales en la comprensión del concepto de gen y la expresión de rasgos heredables (fenotipo), a partir de la aplicación de un instrumento previamente validado en estudiantes de primeros semestres de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

Objetivos específicos:

1. Seleccionar y adaptar un instrumento previamente validado para la identificación de las dificultades conceptuales con relación al concepto de gen y fenotipo, en estudiantes de primeros semestres universitarios de carreras no biológicas.
2. Determinar a partir de un instrumento previamente validado las dificultades conceptuales que se presentan en la comprensión del concepto de gen y la expresión de rasgos heredables en diferentes temáticas de un módulo introductorio a la genética en estudiantes de primeros semestres de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá.
3. Correlacionar los resultados obtenidos a variables sociodemográficas, contextuales y académicas, así como a factores asociados al estudiante, el docente y el saber.

METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio se dividió en varias fases, y corresponde a una metodología de investigación mixta, entendiéndose esta como un diseño de investigación que usa la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos en los métodos que forman parte del estudio (Hernández-Sampieri, 2018, p. 610). Entre las ventajas principales que se tienen, se encuentra la posibilidad de obtener inferencias más fuertes y la compensación de las desventajas que existen entre ambas metodologías (Pole, 2008, p. 39). Además, permiten al investigador responder simultáneamente preguntas explicativas y confirmativas, de forma tal que se podría confirmar un efecto sobre un fenómeno a través de análisis estadísticos de datos cuantitativos y después explorar las razones del efecto observado utilizando investigación de campo, datos de estudio de caso, o encuestas (Tashakkori & Teddlie, 2003a, p. 14).

De acuerdo con la clasificación postulada por Binda & Balbastre (2013, p. 185) y por Hernández-Sampieri, (2018, p. 613), el enfoque metodológico utilizado constó de una recolección de datos cuantitativos y cualitativos en paralelo, con una aproximación de preponderancia cuantitativa (CUAN-cual). Igualmente, adaptó el modelo propuesto por Johnson & Onwuegbuzie (2004), para desarrollar la investigación, el cual consta de los siguientes pasos:

- i. Determinar la pregunta de investigación.
- ii. Determinar y seleccionar el modelo mixto apropiado.
- iii. Recolectar la información o datos de entrada.
- iv. Analizar los datos.
- v. Interpretar los datos.
- vi. Legitimar los datos o información de entrada.
- vii. Concluir.

A partir de la adaptación de esta ruta metodológica, una vez se identificó el problema de investigación, se procedió a desarrollar las siguientes fases de la investigación:

1. Identificación de la población del estudio:

Se seleccionó una muestra de estudiantes de diferentes grupos de la asignatura Biología General (BOG-100010), de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, impartida para carreras no científicas. De los tres grupos en los cuales se impartía la asignatura, dos pertenecían a un mismo docente (Docente A), y el tercero a otro (Docente B). La estructuración de la asignatura constaba de tres grandes módulos: Ecología, Biología Celular y Genética. La evaluación de los conceptos se realizó posterior a la finalización del último módulo de la asignatura, el cual correspondía a las temáticas relacionadas con el área de genética y evolución.

Se consideró seleccionar esta población de estudiantes debido a que cada grupo reúne estudiantes de diferentes carreras; así mismo, la población presenta un relativo grado de heterogeneidad en términos de: región geográfica de origen y estudios escolares, tipo de colegio en el que cursaron sus estudios, estrato socioeconómico de residencia, tipo de interés por la temática y campo disciplinar de sus estudios. El desarrollo del instrumento fue solicitado por cada docente a sus estudiantes de manera voluntaria.

2. Selección, obtención y adecuación del instrumento:

Después de realizar la búsqueda de antecedentes, se seleccionó el instrumento elaborado en el 2008, por la Dra. Bethany Vice Bowling Ph.D., del departamento de ciencias biológicas de la *Northern Kentucky University*, en su trabajo titulado “Desarrollo y validación de un instrumento de evaluación de conocimientos en genética para estudiantes de pregrado”, el cuál le fue solicitado por vía e-mail. Posterior a la obtención del

instrumento, y su posterior traducción, se optó por eliminar una pregunta referente a la legislación estadounidense en la regulación de los tratamientos de terapia génica, la cual no era pertinente de evaluar en una asignatura introductoria en un contexto de educación colombiano. Igualmente, las preguntas para obtener la información sociodemográfica se adaptaron conforme a los estándares del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). El instrumento se digitalizó y aplicó por medio de la plataforma Google Forms, la cual permitió una fácil recopilación de los resultados. Las preguntas del instrumento se agrupan en 6 temáticas diferentes, dentro de las cuales los conceptos de gen y la expresión de un fenotipo se encuentran de manera transversal a través de todos ellos:

Tabla 2.

Clasificación de los temas y subtemas evaluados en el instrumento, por grupos de preguntas

Temática	Subtema	Preguntas
<i>1. Naturaleza del material genético:</i>	a. El ADN es el material genético de todos los diferentes tipos de organismos.	4, 12
	b. Errores ocasionales en la estructura y replicación del ADN puede resultar en variaciones genéticas.	8, 14
	c. El ADN se organiza en estructuras celulares llamadas cromosomas. Los genes son segmentos de ADN dentro de los cromosomas.	1, 15
	d. Virtualmente, todas las células dentro de un individuo contienen la misma constitución genética. Diferentes células y tejidos son producidas por la actividad génica diferencial.	7, 21
<i>2. Transmisión de la información.</i>	a. El número de cromosomas se reduce a la mitad durante la meiosis, lo cual resulta en la formación gametos genéticamente diferentes.	5, 29
	b. Comprender los patrones Mendelianos de herencia, y sus bases biológicas, permite formular probabilidades acerca de la ocurrencia de ciertos rasgos en la descendencia.	6, 27
<i>3. Expresión génica.</i>	a. Muchos genes codifican para proteínas, los cuales producen rasgos individuales	3, 24
	b. Las funciones de un gen y la proteína que produce, pueden ser afectados por el ambiente en uno o varios de los niveles que están implicados en la generación de un rasgo determinado.	20, 22

	c.	La mayoría de rasgos humanos, incluyendo enfermedades, resultan del producto de múltiples genes interactuando con variables ambientales; se incluyen ejemplos como la estatura, enfermedad cardiovascular, cáncer y desorden bipolar.	2, 17
<i>4. Regulación génica</i>	a.	Algunas variaciones genéticas resultan en enfermedad virtualmente en la mayoría de ambientes, por ejemplo, las mutaciones asociadas a la Enfermedad de Huntington, la Enfermedad de Tay-Sachs, y la fibrosis quística.	19
	b.	Existen otras variaciones genéticas que dan como resultado la enfermedad de manera menos consistente, por ejemplo, la mutación de BRCA1 asociada con el cáncer de mama.	9, 11
	c.	Mucha de la variación génica involucra el “encendido” y “apagado” de distintos genes en momentos particulares.	18
<i>5. Evolución</i>	a.	La variación genética es la regla, más que la excepción en el mundo viviente, y es la base para la evolución por selección natural; sin variación genética no habría selección diferencial, y por lo tanto no habría supervivencia de ninguna especie.	13, 25
	b.	La variación genética es más grande dentro de los grupos étnicos tradicionales que entre ellos. Las diferencias fenotípicas superficiales no reflejan el alto grado de parentesco genético entre los grupos étnicos tradicionales.	23
<i>6. Genética y sociedad</i>	a.	Las aplicaciones actuales y futuras de la genética y las tecnologías genéticas en áreas como el cuidado de la salud, los análisis forenses, organismos genéticamente modificados, etc; guardan un gran potencial para mejorar la vida.	10
	b.	Como todas las tecnologías, las tecnologías genéticas son falibles y tienen consecuencias no deseadas, de las cuales algunas pueden ser perjudiciales para individuos, familias o grupos.	16, 30
	c.	La ciencia a menudo nos puede decir lo que podemos y lo que no podemos hacer; pero no siempre es clara frente a lo que debemos hacer. Este tipo de decisiones vienen de la intersección de la ciencia con la ética, el derecho y las políticas públicas.	26, 28

3. Compilación y análisis de los datos:

El análisis de los datos se dio en varias fases: primero, se realizó la descripción de la muestra con la información sociodemográfica y los datos del contexto académico de la aplicación del instrumento y luego se evaluó el resultado de los estudiantes en el instrumento, a nivel general y entre grupos docente, igualmente, se comparó el desempeño obtenido por las diferentes carreras que presentaron el test, comparando la dificultad de cada pregunta, respecto a la reportada previamente. Después, se realizó un ANOVA a una vía con el uso del software Graphpad Prism V9, con el fin de comparar los resultados obtenidos entre los tres grupos, y así estimar las diferencias estadísticamente significativas obtenidas entre estos. Finalmente, se realizaron los mismos análisis a nivel general y discriminando entre grupos, a nivel de las seis diferentes temáticas que contempla el instrumento, con el fin de identificar cuáles áreas presentan la mayor dificultad de comprensión, y su posible asociación a diferentes factores.

RESULTADOS

La distribución de los resultados se determinó de acuerdo con los objetivos del proyecto, de los cuales el primero se fundamentó en la adaptación del instrumento para la identificación de los errores conceptuales en genética por parte de los estudiantes; mientras que el segundo consistió en la identificación de los errores conceptuales a partir de la aplicación del instrumento. Estos objetivos se desarrollarán en este apartado del documento, mientras que el tercero, cuya finalidad reside en asociar los resultados del instrumento a variables sociodemográficas, contextuales y académicas de los estudiantes, se desarrollará en la sección dedicada a la discusión de los resultados.

1. Selección y adaptación del instrumento para determinar las dificultades conceptuales en genética

De acuerdo con el primer objetivo del proyecto, los instrumentos candidatos para identificar las dificultades conceptuales en genética en estudiantes de primeros semestres universitarios se encontraron entre los desarrollados por Bowlin et al., (2008); Tsui & Treagust, (2010) y Champagne-Queloz et al., (2017). El Instrumento para la Evaluación de Conocimientos en Genética, abreviado originalmente por Bowlin et al., (2008), como GLAI (*Genetics literacy assessment instrument*) fue el seleccionado, ya que, a diferencia de los otros su rango de temáticas era más amplio, no se restringía únicamente al campo de la genética mendeliana y abarcaba temas tanto disciplinares como interdisciplinares, como la repercusión de la genética y su aplicabilidad en la cotidianidad.

El instrumento se tradujo del inglés al español, y aunque esto pudiera representar la generación de errores conceptuales por un uso incorrecto de términos desde el español, como se evidenciará más adelante, los resultados tuvieron una tendencia a ser mejores que los obtenidos por Bowlin et al., (2008) en su estudio original, por lo cual se presume que no se evidenciaron este tipo

de dificultades (tabla 6). Por otra parte, dentro de las adaptaciones realizadas al instrumento, se eliminó la siguiente pregunta:

“¿Cuál de las siguientes es una consecuencia de la legislación federal de los E.E.U.U. promulgada en el 2008 y titulada “Acto de No discriminación a la Información Genética (GINA)?

- a. Las aseguradoras de salud o los empleadores ahora pueden exigir que las personas realicen una prueba genética.
- b. Requiere que los proveedores de atención médica comiencen a mantener la confidencialidad de la información genética.
- c. Prohíbe que las compañías de pruebas de ADN directas con fines de lucro ofrezcan pruebas genéticas.
- d. Desalienta a las personas a utilizar pruebas y asesoramiento genético.
- e. * Prohíbe la discriminación con respecto a la cobertura de seguro de salud y el empleo sobre la base de la información genética de un individuo.”

* Respuesta correcta

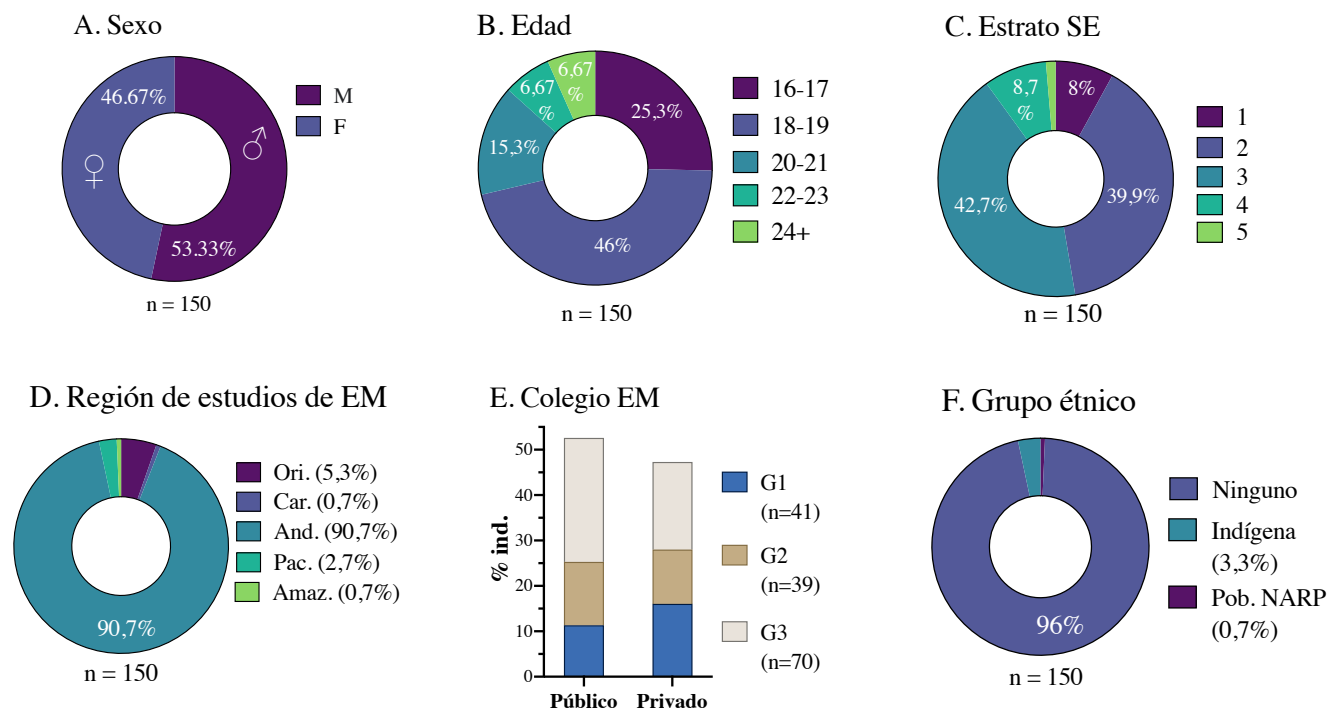
La anterior pregunta fue eliminada del instrumento debido a que su contenido refería a la legislación estadounidense sobre problemas éticos y sanitarios asociados a la información genética de un individuo, lo cual no forma parte de los cursos de genética en el contexto profesional de Colombia. Una vez adaptado el instrumento, se procedió a identificar las dificultades conceptuales de los estudiantes, no previo a la caracterización del contexto sociodemográfico y académico de la muestra.

2. Caracterización sociodemográfica de la población estudiada

Para desarrollar el segundo objetivo, se tabularon los datos obtenidos por el instrumento, ya que obtuvo una muestra de 150 individuos ($n=150$), donde la distribución de los sexos en la población estudiada era relativamente similar entre individuos de sexo masculino y femenino (Fig. 2A). Así mismo, más del 70% de los estudiantes encuestados eran menores de 20 años (Fig. 2B), lo cual es consecuente con el hecho de que la mayoría de ellos se encontraba finalizando su primera o segunda matrícula universitaria para el momento de desarrollar el instrumento (Fig. 2B). A pesar de que más del 80% de los estudiantes pertenecen a la clase media (estratos 3 y 4), la proporción de egresados de colegio público y privado es muy similar. Por otra parte, la representatividad de otras regiones del país en comparación a la andina es menor al 10% en el total de la muestra, con muy pocos individuos pertenecientes a grupos étnicos.

Figura 2.

Caracterización sociodemográfica de la muestra de la población estudiada.



3. Contexto académico de la población estudiada

Para el contexto académico se encontró que la mayoría de los individuos muestreados estaban cursando la asignatura por primera vez (Fig. 3C) y no tenían formación universitaria previa en genética (Fig. 3B), sin embargo, el 8% que sí lo presentaba, la obtuvo en asignaturas como: *biología molecular, microbiología, bioquímica, biología evolutiva, biotecnología para no biotecnólogos, bases fisiológicas de la nutrición, psicobiología, botánica, química básica, introducción a la zootecnia y hominización.*

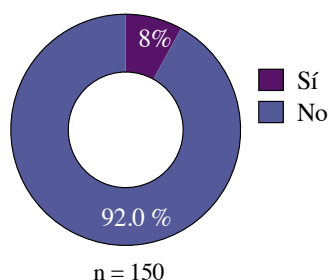
Figura 3.

Descripción del contexto académico donde se aplicó el instrumento.

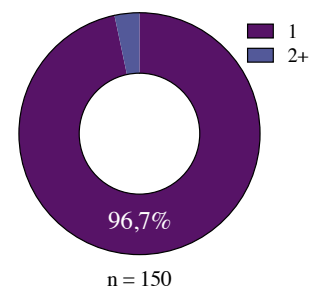
A. Descripción de los grupos

Grupo	Prof.	N. ind	%
1	A	41	27,3
2	B	39	26
3	B	70	46,7
Total	2	150	100

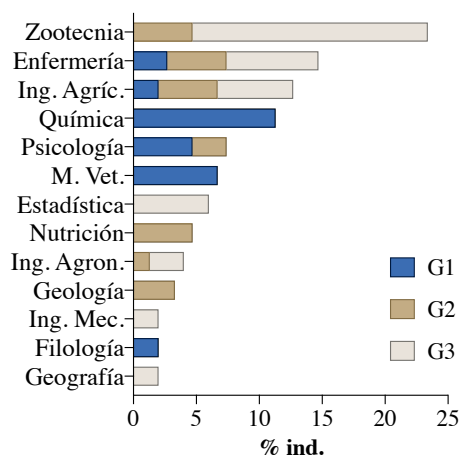
B. Formación universitaria previa en genética



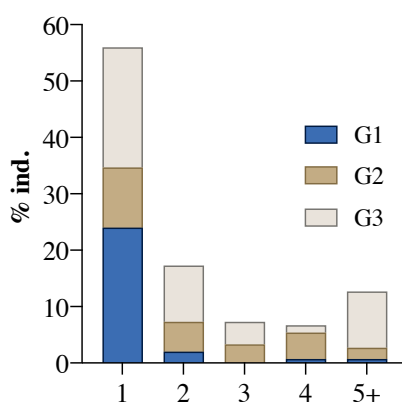
C. Veces que ha cursado la asignatura



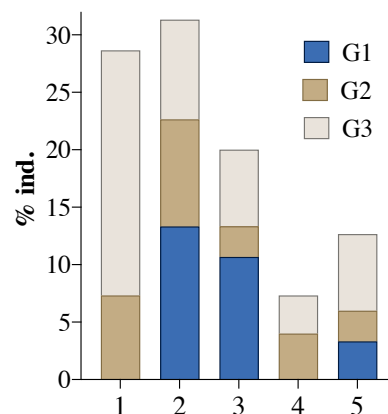
D. % Individuos por carrera



E. Número de matrículas



F. Imp. de genética en su FP



Por otra parte, los individuos muestreados se repartían en tres grupos de clase (Fig. 3A):

- El primero pertenece al profesor A y está comprendido mayoritariamente por una muestra de estudiantes de MV, química, psicología, filología e idiomas, entre otros (Fig. 3D).
- El segundo también pertenece al profesor A, y está formado por una mezcla relativamente homogénea de estudiantes de geología, nutrición y dietética, zootecnia, enfermería, ingeniería agrícola, entre otros (Fig. 3D).
- El tercero pertenece al profesor B, y se conforma de un grupo más grande, principalmente de estudiantes de zootecnia, ingenierías (agronómica, agrícola y mecánica), enfermería, estadística y geografía (Fig. 3D).

Adicionalmente, se preguntó a los individuos muestreados la razón por la cual consideran importantes los conocimientos en genética para su formación y desempeño profesional (FP), y a partir de ello se generaron cinco categorías dentro de las cuales se clasificaron sus respuestas (Tabla 3). A partir de lo anterior, se encontró que aproximadamente el 60% de los estudiantes escogieron las razones 1 y 2 (Fig. 3F), siendo la uno elegida mayoritariamente por estudiantes del área de ciencias agrarias (CA), ya que posee un carácter de aplicación técnico frente a la selección y optimización en la producción de animales y plantas con rasgos particulares, lo cual es coherente teniendo en cuenta que los pertenecientes a zootecnia, ing. agronómica e ing. agrícola comprenden aproximadamente el 40% del total de la muestra. Por otra parte, la razón 2 fue escogida mayoritariamente por las carreras del área de ciencias de la salud (CS) como enfermería, psicología o MV, ya que consideran la genética importante para comprender la influencia de diferentes factores hereditarios en la presencia de rasgos patológicos en humanos o animales.

Tabla 3.

Descripción de los grupos de razones en las cuales los estudiantes clasificaron la importancia de la genética en su formación profesional.

N.	Descripción
1	<i>La aplicación de estos conocimientos brinda herramientas para realizar mejoramiento genético en plantas y animales, y así optimizar su producción.</i>
2	<i>La genética es importante para el entendimiento de la influencia de los factores hereditarios, en el desarrollo de diferentes rasgos fenotípicos, comportamentales y/o patológicos, con aplicaciones en los campos de las ciencias de la salud humana y animal.</i>
3	<i>El aprendizaje de este tipo de contenidos permitirá relacionarlos y aplicarlos en campos interdisciplinarios del conocimiento (bioquímica, nutrigenómica, bioestadística, paleontología, etc), los cuales permitirán la aplicación de estos conocimientos en diferentes contextos, tanto académicos como laborales.</i>
4	<i>El conocimiento de este tipo de contenidos complementa indirectamente la formación profesional, brindando una perspectiva de carácter más holístico, que facilita el entendimiento de los procesos evolutivos de diferentes especies en contextos ecológicos y poblacionales.</i>
5	<i>La importancia radica en un interés personal para el conocimiento de la temática, ya que no tiene relación directa con su formación profesional, además, su interés puede dirigirse hacia otros contenidos de la asignatura (ecología, biología celular o evolución).</i>

4. Resultados del instrumento por grupo docente y por grupos de carreras

Dentro de los resultados obtenidos a nivel general y por grupos (Fig. 4 y Tabla 4), se encontró a nivel general que: el puntaje medio (PM) del grupo para el GLAI fue de 17,32/30 con un error estándar de la media (SEM) de 0,630; la mediana de los datos fue de 21, lo cual indica que el 50% de los estudiantes se encuentran con un puntaje igual o mayor que este y puede ser un indicador de un desempeño relativamente bueno a nivel general. Por otra parte, dentro de las comparaciones establecidas entre los grupos a partir del ANOVA a una vía se encontró que el grupo 3 (de mayor tamaño que los otros) tuvo un desempeño significativamente menor frente a los grupos 1 y 2 ($p < 0,001$), y al promedio general ($p < 0,01$). Adicionalmente, este grupo tiene un mayor rango

de variación en sus PM (5-29), y tiene una mediana de 17,5, la cual indica que el 50% de los puntajes del grupo se encuentran por debajo de este valor. Por otra parte, el grupo 1 presentó el mayor PM frente a los demás, siendo este significativamente mayor frente al promedio general ($p < 0,05$) y frente al grupo 3, como se mencionó anteriormente ($p < 0,001$).

Por otra parte, a nivel de carrera se encontró que el mayor desempeño fue obtenido por las carreras de las áreas de ciencias de la salud (CS) y ciencias naturales y exactas (CE), con un PM de 19,5 y 18,7 respectivamente, los cuales son significativamente mayores al calculado para las áreas de ciencias agrarias (CA) y ciencias humanas (CH) ($p < 0,01$) (Fig. 5A). A pesar de lo anterior, es importante considerar que las carreras con el mejor desempeño fueron química y geología (ciencias naturales), con un PM de 21; sin embargo, ocupan la segunda posición a nivel de área debido al PM de estadística (PM=13) e ingeniería mecánica (PM=17) (ciencias exactas) (Fig. 5B).

Figura 4.

Comparación PM general y por grupos.

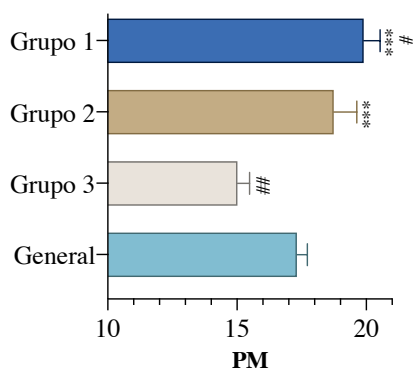


Tabla 4.

Estadística descriptiva de los resultados obtenidos por el GLAI a nivel general y por grupos docentes.

Estadíst.	General	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
\bar{x}	17,32	19,90	18,74	15,01
SEM	0,403	0,630	0,888	0,475
Mediana	17,5	21	18	15
Rango	5-29	7-27	8-29	5-24
n	150	41	39	70

Nota. Histogramas con la distribución de los PM y su comparación por a nivel general y por grupos docentes (1, 2 y 3). El análisis estadístico se realizó usando ANOVA de una vía seguido por el test de Bonferroni. Los datos se graficaron como la media \pm SEM (error estándar de la media). Las diferencias respecto al grupo 3: *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$; y diferencias respecto al desempeño general: #: $p < 0,05$, ##: $p < 0,01$, ###: $p < 0,001$.

Adicionalmente, las carreras de CS tuvieron un desempeño elevado y con poca variación, siendo MV (PM=20), psicología (PM=20), nutrición y dietética (PM=20), y enfermería (PM=19) las carreras que conforman este grupo, en el cual el 50% de los estudiantes presentaron PM iguales o superiores a 20 en el desarrollo del instrumento. Por otra parte, los estudiantes de CH (geografía y filología) obtuvieron un PM significativamente menor a CS y CE ($p < 0,01$), con un rango comprendido entre 5 y 15, un PM de 11,2 y una mediana de 13, lo cual indica que solo el 50% de los estudiantes de este grupo tuvo un desempeño igual o superior a este puntaje (Tabla 5).

Figura 5.

Comparación PM por áreas del conocimiento (A) y por carreras (B).

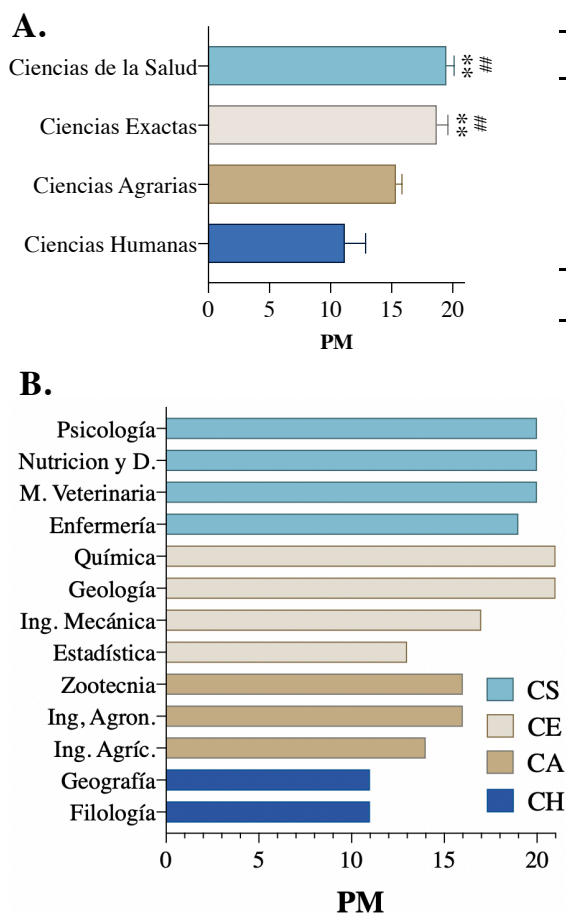


Tabla 5.

Estadística descriptiva de los resultados obtenidos por el GLAI por área de conocimiento y por carrera.

Estadíst.	CS	CE	CA	CH
\bar{x}	19,5	18,7	15,4	11,2
SEM	0,640	0,902	0,496	1,70
Mediana	20	18,5	15	13
Rango	8-27	8-29	6-24	5-15
n	50	34	60	6

Nota. A. Histogramas con la distribución de los PM y su comparación por área de conocimiento: Ciencias de la Salud (CS), Ciencias Exactas y Naturales (CE), Ciencias Agrarias (CA) y Ciencias Humanas (CH). El análisis estadístico se realizó usando ANOVA de una vía seguido por el test de Bonferroni. Los datos se graficaron como la media \pm SEM. Las diferencias respecto CH: *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$; y diferencias respecto a CA: #: $p < 0,05$, ##: $p < 0,01$, ###: $p < 0,001$. **B.** Histogramas con la distribución y comparación de PM por carrera.

5. Resultados del instrumento aplicado a nivel de pregunta y de los diferentes campos conceptuales de la genética

A partir de la aplicación del GLAI, se encontró que el resultado general de los estudiantes en los prácticamente todos los ítems del instrumento fue superior a nivel general reportado por Bowlin *et al.*, (2008) (Tabla 6). El resultado obtenido por cada pregunta se reportó en forma de la dificultad de ítem (DI), la cual se define como la proporción de estudiantes que responden una pregunta correctamente. De acuerdo con Bowlin *et al.*, (2008) y (Kaplan & Saccuzzo, 1997), la dificultad óptima de ítem debe ser el punto medio entre un estudiante seleccionando la respuesta correcta (100%) y la posibilidad de que un estudiante seleccione la respuesta correcta adivinando (20% para cinco opciones). De acuerdo con lo anterior, la dificultad óptima por ítem para este instrumento es del 60%, la cual se aproxima a la dificultad media (DM) de todo el instrumento, que fue del 59%. Se decidió analizar el desempeño a nivel de tema y subtema, reconociendo dificultades conceptuales en aquellas temáticas que tuvieran una DM igual o inferior a 55 (Fig. 6). Dentro de las dificultades encontradas se seleccionaron las siguientes temáticas relacionadas a los conceptos de gen y la expresión de fenotipos (Tabla 7):

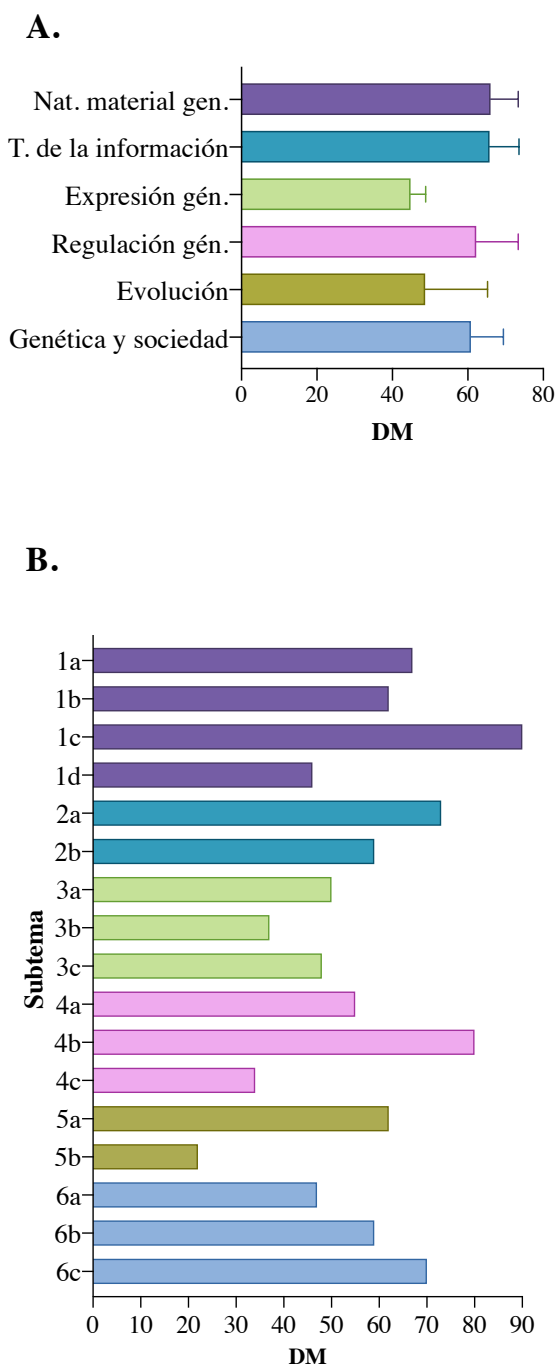
Tabla 6.

Resultados obtenidos del GLAI y comparación con lo reportado por Bowlin et al., (2008) para cada ítem.

Tema	Subt.	Dificultad Media	Q	Dificultad obtenida	Dificultad reportada
1. Naturaleza del material genético. DM: 66	1a.	67	4 12	57 77	17 25
	1b.	62	8 14	80 43	52 32
	1c.	90	1 15	96 84	52 48
	1d.	46	7 21	40 51	37 28
2. Transmisión de la información. DM: 66	2a.	73	5 29	57 89	29 77
	2b.	59	6 27	61 56	55 47
3. Expresión génica. DM:45	3a.	50	3 24	59 41	29 23
	3b.	37	20 22	31 42	38 45
	3c.	48	2 17	53 43	42 41
4. Regulación génica DM: 62	4a.	55	19	55	53
	4b.	80	9 11	78 82	68 80
	4c.	34	18	34	23
5. Evolución: DM: 49	5a.	62	13 25	79 45	21 33
	5b.	22	23	22	25
6. Genética y sociedad DM: 61	6a.	47	10	47	47
	6b.	59	16 30	67 51	67 36
	6c.	70	26 28	47 92	38 72

Figura 6.

Dificultad media obtenida por tema (A) y subtema (B)



Nota. Tabla con los resultados obtenidos por el instrumento, presentando la dificultad media (DM) por tema, subtema y por cada pregunta (se subraya en rojo aquel subtema o tema con una $PM \leq 55$, cuyos contenidos estén implicados directamente con la comprensión del concepto de gen o la expresión de un fenotipo particular). Los histogramas presentados representan la comparación de la DM obtenida por cada tema (A) y subtema (B).

Tabla 7. *Dificultades conceptuales encontradas en el instrumento asociadas por tema, relacionadas al concepto de gen y fenotipo*

N.	Descripción
1d	Virtualmente, todas las células dentro de un individuo contienen la misma constitución genética. Diferentes células y tejidos son producidas por la actividad génica diferencial.
3a	Muchos genes codifican para proteínas, los cuales producen rasgos individuales.
3b	Las funciones de un gen y la proteína que produce, pueden ser afectados por el ambiente en uno o varios de los niveles que están implicados en la generación de un rasgo determinado.
3c	La mayoría de rasgos humanos, incluyendo enfermedades, resultan del producto de múltiples genes interactuando con variables ambientales; se incluyen ejemplos como la estatura, enfermedad cardiovascular, cáncer y desorden bipolar.
4a	Algunas variaciones genéticas resultan en enfermedad virtualmente en la mayoría de ambientes, por ejemplo, las mutaciones asociadas a la Enfermedad de Huntington, la Enfermedad de Tay-Sachs, y la fibrosis quística.
4c	Mucha de la variación génica involucra el “encendido” y “apagado” de distintos genes en momentos particulares.
6a	Las aplicaciones actuales y futuras de la genética y las tecnologías genéticas en áreas como el cuidado de la salud, los análisis forenses, organismos genéticamente modificados, etc; guardan un gran potencial para mejorar la vida.

DISCUSIÓN

Respecto al tercer objetivo, para poder analizar las posibles razones asociadas a las dificultades conceptuales presentadas por los estudiantes durante el desarrollo de este instrumento es necesario retomar lo postulado por Astolfi (1997) y Vasco-Montoya (1997), con los tres elementos del triángulo didáctico que conforman el proceso educativo: El estudiante y el proceso de aprendizaje, el educador y el proceso de enseñanza, y el saber.

Primero, a nivel del estudiante y el proceso de aprendizaje, el PM general muestra un buen resultado, del cual se puede inferir un manejo básico de la terminología y conceptos propios del campo de la genética. Adicionalmente, los resultados obtenidos por el instrumento describen una muestra relativamente homogénea en términos sociodemográficos, con una mayoría comprendida por jóvenes de clase media entre 16 y 19 años, que no pertenecen a ningún grupo étnico, los cuales realizaron sus estudios de educación media (EM) en diferentes municipios de la región andina en similar proporción de instituciones tanto públicas como privadas, con igual representatividad de sexo masculino y femenino, por lo cual no se considera que estas variables sociodemográficas afecten drásticamente los resultados obtenidos por el instrumento, por lo menos para esta muestra de la población.

Igualmente, el contexto académico señala grupos de jóvenes de primeros semestres, sin formación universitaria previa en genética, cuyo grueso se encuentra comprendido por las áreas de CA, que encuentran una aplicabilidad técnica de los conceptos de genética al desarrollo de su profesión; las carreras de CS, que ven en la genética una posibilidad de comprender los principios básicos que subyacen el desarrollo de las patologías humanas y animales; y CE las cuales buscan una interdisciplinariedad con áreas relacionadas a la biología molecular y las ciencias genómicas.

De acuerdo con Coca (2015), dentro del estudio de la didáctica, es importante conocer las motivaciones de los estudiantes al momento de realizar un proceso de aprendizaje, lo cual puede

estar estrechamente relacionado con el desempeño que tuvieron en el instrumento, pues se observó que aquellos con un campo de desempeño profesional más cercano a la comprensión propia de la disciplina y sus conceptos, más allá de su aplicabilidad técnica o su conocimiento general, fueron los que obtuvieron los mejores resultados. Lo anterior, puede estar directamente relacionado con el desempeño alcanzado por el grupo 3, el cual fue significativamente menor a los demás y al promedio. Lo anterior puede deberse a varias razones:

1. La mayoría del grupo se encuentra conformado por estudiantes del área de CA, ingeniería mecánica, geografía y estadística, las cuales fueron carreras con PM aproximado a 13.
2. El grupo estuvo a cargo de un docente diferente, lo cual puede ser un indicador del efecto que tiene dos docentes con formación disciplinar y pedagógica distinta en el resultado obtenido por los estudiantes en el desarrollo del instrumento.
3. A pesar de que a nivel general el grupo no exhiba diferencias sociodemográficas, estas pueden ser más evidenciables cuando se evalúan entre los diferentes grupos docentes, ya que la mayoría de estudiantes del grupo 3 son egresados de colegios públicos, mientras que la mayoría de estudiantes del grupo 1 son egresados de colegios privados. En un contexto educativo heterogéneo como el presentando en Colombia, es importante considerar la formación previa de los estudiantes en el ámbito público o privado, ya que, de acuerdo con Guarín et al., (2018, p. 64), las ofertas privada y pública de educación secundaria y media poseen diferencias de tipo institucional que determinan significativamente sus respectivos potenciales para generar los resultados académicos que se proponen.

Contrario a lo esperado, la formación profesional desde primeros semestres puede ser un determinante para la facilidad con la que se aprenden unos conceptos particulares, en relación con la afinidad que se tenga por la temática, en este caso particular, la biología y la genética. Es importante tener en consideración que, para carreras de carácter más técnico, la relación con disciplinas como la biología y sus diferentes ramas del conocimiento puede no encontrarse

directamente vinculada con su formación profesional a diferencia de otras ramas de las ciencias aplicadas como la matemática, la ingeniería o la computación. Adicionalmente, se recomienda tomar en cuenta la modalidad en la cual los diferentes estudiantes se encuentran cursando la asignatura, ya que, para carreras como filología, geografía y estadística, esta asignatura forma parte de un componente electivo, y han escogido cursarla con el objetivo de familiarizarse con los contenidos generales de la asignatura, de los cuales genética solo comprende la tercera parte.

Finalmente, dentro de las consideraciones para tener en cuenta sobre los estudiantes, se debe contemplar su entrada reciente al contexto universitario, en una universidad de altos estándares académicos, y en un modelo de educación telemático a raíz de la situación sociosanitaria generada por el COVID-19, para lo cual los docentes no estaban preparados, por lo cual no hay una metodología pensada desde la didáctica de la disciplina para esta modalidad de enseñanza, lo que también pudo afectar drásticamente los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Por otra parte, si se observa a nivel de docente, es importante observar algunas diferencias entre ellos. De acuerdo con lo observado en la tabla 8, a nivel del docente, el proceso de enseñanza se encuentra afectado por varios factores:

1. La formación pedagógica: De acuerdo con Ahumada (2006, p. 80), la pedagogía, entendiéndose como una tecnología del sujeto, da uso de una racionalidad científica con el fin de orientar la formación de los individuos al acomodo de unos valores dominantes, en este caso establecidos por el currículo. De acuerdo con lo anterior, la administración curricular del conocimiento cobra sentido cuando es planificado para enseñarse y se transforma en un insumo cognitivo; de esta manera el contenido condiciona el acto de enseñanza, por lo cual es necesario planificar esto desde la didáctica propia de cada disciplina (Ahumada, 2006, p. 83).
2. El grado de formación disciplinar: conocer al que aprende y conocer lo aprendido son las condiciones del acto de instrucción, de ambos conocimientos se deriva la prescripción

didáctica (Ahumada, 2006, p. 84). El proceso de transposición didáctica, asumido como el trabajo que transforma un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza, permite un ejercicio de vigilancia epistemológica; sin embargo, es claro que el grado de comprensión de los conocimientos o saberes a enseñar determinarán el punto de partida del objeto que sufrirá una continua serie de transformaciones que le dará un lugar entre los objetos de enseñanza (Chevallard, 1991). Es decir, una mayor comprensión de estos saberes puede permitir en una primera instancia la formación de prescripciones mejor fundamentadas por lo menos en el ámbito teórico, el cual termina de complementarse con la formación pedagógica del didacta.

3. Experiencia docente: La experiencia docente permite al educador retroalimentar su práctica pedagógica, enriqueciéndola y permitiéndole trabajar sobre los diferentes elementos que permitirán un mejor desarrollo de sus clases. La reflexión del docente sobre los diferentes elementos del conocimiento didáctico del contenido postulados por Park & Oliver (2008), le permitirá cambiar las formas de entender su práctica pedagógica, sus métodos de evaluación, la implementación de estrategias más efectivas para la enseñanza y aprendizaje de los contenidos, así como familiarizarse con la estructura curricular de la genética, de la cual, es evidente que el docente A posee un mayor grado de familiaridad, por lo menos en términos de tiempo.

Tabla 8. Diferencias entre los docentes A y B.

Criterio	A	B
- Nivel de formación académica	Doctorado (Ph.D.)	Maestría (MSc.)
- Formación previa en pedagogía (t)	12 meses	2 meses
- Número de semestres que ha dictado la asignatura o similares	14	1
- Años de experiencia docente	8	0

A modo de síntesis, es importante contemplar el efecto que puede tener el docente durante la enseñanza de un contenido particular, ya que su formación disciplinar y pedagógica juegan un papel igual de fundamental para poder llevar esos saberes disciplinares en forma de prescripciones a aquellos que realizan el proceso de aprendizaje.

Por otra parte, a nivel del saber es necesario situarse sobre los conceptos que mayor dificultad generaron en su comprensión para los estudiantes, los cuales, de acuerdo con la tabla 7, fueron temáticas relacionadas en su mayoría con la regulación de la expresión génica y la actividad que tienen los genes en producir rasgos concretos a partir de las proteínas para las cuales codifican sus ARNm. Para esto, se debe pensar en un contexto en el cual la enseñanza de la genética y la biología molecular se encuentra fragmentada dando usos diferentes al concepto de gen, de acuerdo con su campo de enseñanza (genética mendeliana, biología molecular, evolución, entre otras).

Si se observan las temáticas 1d, 3a, 3b, 3c, 4a y 4c; se puede ver que el problema yace en identificar la relación que puede tener un cambio en la expresión génica con la obtención de un fenotipo determinado. De acuerdo con lo anterior, y si se toman en cuenta la preguntas 7 y 21 del instrumento, muchos estudiantes consideran que la información genética de los diferentes tipos celulares no es la misma, o en su defecto, que su expresión es continua; estos errores se generan inicialmente por la falta de comprensión de los procesos de meiosis y mitosis, ya que toda la información genética de las células humanas proviene de la fusión de gametos que se generan a partir de procesos de segregación cromosómica y que al formar un cigoto sufren una serie de divisiones mitóticas sucesivas para llegar a desarrollar un organismo pluricelular.

Lo anterior es consecuente con lo enunciado por Banet y Ayuso (1998; 2000), quienes mencionan una dificultad particular de los estudiantes para comprender conceptos de gen, alelos y cromosoma, lo cual dificulta la interpretación adecuada de homo- y heterocigosis, así como la formación de ideas alternativas sobre el proceso de meiosis. Adicionalmente, como mencionan los

temas “Expresión génica” y “Regulación génica”, el material genético muchas veces genera la potencialidad en la expresión de un gen o genes en particular que permitirán el desarrollo de una característica, sin embargo, la influencia de factores ambientales es clave para la expresión de estos fenotipos, lo cual implica que el fenotipo puede ser temporal y no estático, por ejemplo, la floración de las plantas en la primavera está regulada por la expresión de un grupo de genes determinados en un estadio fenológico particular de las plantas (debe madurar primero y encontrarse en una época determinada del año).

De acuerdo con Diez de Tancredi (2006) y Tsui & Treagust (2010), en estudios previos, los estudiantes no mostraban un esfuerzo evidenciable para relacionar los aprendizajes de la genética clásica mendeliana, con los dogmas de la biología molecular y a partir de ello comprender la generación de un rasgo particular. Sin embargo, y de acuerdo con ellos, esta habilidad se adquiere con el paso de los años, cuando los estudiantes pasen por cursos de mayor profundización en temáticas relacionadas con bioquímica y biología molecular. Es importante considerar que estas dificultades pueden tener influencia tanto por parte del docente como del alumno, ya que la transformación continua a la que están sometidos estos conceptos puede llevar a generalizar fenómenos biológicos como la expresión de un fenotipo, cuando de hecho es algo variable en el tiempo y dependiente de diferentes condiciones ambientales internas y externas del organismo.

Una forma de superar las dificultades mencionadas puede ser aproximar al estudiante a un aprendizaje significativo de los conceptos, que lo lleven a entender que la expresión génica se regula en la cotidianidad y por lo tanto, a pesar de que el genotipo sea constante durante la vida de un organismo, la actividad génica será la que determinará la expresión de un fenotipo particular u otro, usando de esta manera el fenotipo como un elemento o concepto que permita comprobar experimentalmente la actividad génica condicionada por diferentes factores; sin embargo, es necesaria la realización de un ejercicio consciente por parte del estudiante para superar estas dificultades.

Lo anterior nos lleva al otro eje temático que generó dificultades conceptuales, que es la comprensión del subtema 6a: “Las aplicaciones actuales y futuras de la genética y las tecnologías genéticas en áreas como el cuidado de la salud, los análisis forenses, organismos genéticamente modificados, etc; guardan un gran potencial para mejorar la vida”. De acuerdo con Juárez et al., (2005); & Díez de Tancredi (2006), la falta de comprensión sobre el concepto de gen incide también en el aprendizaje de otros contenidos de biología, por lo cual se intuye que la enseñanza llevada a cabo en las aulas ha llevado muchas veces a los estudiantes a hacer un trabajo de rutina memorística, de poca relevancia y carente de significado.

Se plantea entonces, la importancia de considerar las preconcepciones de los estudiantes para la enseñanza de la genética, en contextos escolares y extracurriculares, de forma tal que el planteamiento de situaciones de aprendizaje que favorezcan la construcción del conocimiento y el uso de materiales apropiados y diversos para tal fin. Esto podría lograr que los estudiantes reestructuraran sus concepciones iniciales sobre la información hereditaria, su estructura, su ubicación en la célula, y en los cromosomas y, de esta manera, posiblemente lograr conocimientos mejor fundamentados de acuerdo con los conceptos científicos actualmente aceptados en esta nueva era de las ciencias biológicas.

En resumen, el instrumento aplicado buscó realizar un proceso que permitiera reunir parte de esta información, con el fin de encontrar diferentes variables que afecten el proceso de aprendizaje de los conceptos básicos de genética como lo son: gen, cromosoma, meiosis y regulación de la expresión génica. De acuerdo con lo anterior, este tipo de instrumentos pueden representar una buena oportunidad para estudiar los problemas que afectan un grupo concreto de estudiantes, particularmente en poblaciones de carácter relativamente homogéneas. Sin embargo, es necesario invitar al docente a pensarse sus modelos de enseñanza alrededor de estos conceptos, con el fin de que actualice su práctica, la retroalimente y reestructure parte del su conocimiento didáctico del contenido.

A pesar de lo mencionado, es necesario problematizar el uso de un instrumento generalista en relación con la diversidad de profesiones. Si bien, los antecedentes mostrados permiten identificar las dificultades conceptuales que se pueden presentar en un primer momento en la población de interés, es necesario recordar que la evaluación es, según lo define Ahumada (2003), como “un proceso de delinear, obtener, procesar y proveer información válida, confiable y oportuna sobre el mérito y valía del aprendizaje de un sujeto con el fin de emitir un juicio de valor que permita tomar cierto tipo de decisiones orientadas a mejorar su proceso de aprendizaje”. En un proceso de evaluación auténtica, el docente debería tener en cuenta los conocimientos previos del estudiante, la motivación intrínseca que lo lleva a buscar esos conocimientos, sus ritmos de aprendizaje, y los pensamientos de carácter divergente que pueda tener sobre estos conceptos.

Es importante la realización de este tipo de investigaciones, ya que en el contexto colombiano no hay suficientes estudios que permitan profundizar en esta clase de dificultades conceptuales para tratar de comprender acerca del proceso de aprendizaje de esta ciencia, planteando nuevos abordajes que ahonden en la exploración del desarrollo de los procesos conceptuales y específicamente aquellas que se refieren al aprendizaje significativo de contenidos claves estructurantes de la biología, desde la óptica de la construcción de representaciones mentales.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de esta investigación, frente a los tres objetivos desarrollados, se puede concluir a partir de este estudio piloto que:

1. El desarrollo de este tipo de instrumentos puede representar una manera sistemática y objetiva de identificar las dificultades conceptuales que presentan los estudiantes de primeros semestres universitarios del contexto colombiano, en relación a los diferentes contenidos temáticos enseñados en genética, biología molecular y evolución, con el fin de caracterizar la población estudiada e identificar las variables que pueden afectar la comprensión de los conceptos asociados al gen y el fenotipo (entendiéndose como la expresión de rasgos heredables condicionados por la regulación de la expresión génica), para un posterior abordaje personalizado por parte del docente, adaptado a las necesidades de cada grupo.

2. Las dificultades conceptuales encontradas en la muestra estudiada consisten principalmente en la comprensión del efecto de la expresión génica y su regulación en la generación de un fenotipo particular, el cual puede ser temporal o permanente. De acuerdo con lo reportado en la literatura, estas dificultades residen en la falta de articulación de las nociones molecular y mendeliana de gen, y su influencia en el fenotipo, muchas veces a causa de un aprendizaje memorístico de estos conceptos y la falta de un ejercicio consciente para relacionarlos.

3. Contrario a lo esperado, para la muestra estudiada, la formación profesional desde primeros semestres aparenta ser un determinante que genera mayor afinidad para la comprensión de los contenidos de asignaturas básica de genética. Además, es importante contemplar el efecto que puede tener el docente en el desempeño de los estudiantes en el instrumento, ya que la formación disciplinar y pedagógica de los dos docentes del estudio

aparentó estar relacionada con los resultados obtenidos. Por último, la genética es un campo de alta tensión conceptual cuando se aborda desde su propia didáctica, ya que los procesos de transposición llevan a una reestructuración continua de los contenidos temáticos, con el fin de enseñar los conceptos de manera más sencilla de acuerdo con el diseño curricular. Sin embargo, estas rupturas temáticas pueden generar problemas conceptuales, los cuales podrían no articularse adecuadamente en etapas posteriores, a menos que el estudiante haga un ejercicio consciente de las aplicaciones de estos conceptos en su campo práctico y en la cotidianidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ahumada, G. C. (2006). La lógica del concepto de pedagogía. *Revista Iberoamericana de Educación*, 39(4), 1-11. <https://doi.org/10.35362/rie3942564>
2. Ahumada, P. (2005). La evaluación auténtica: Un sistema para la obtención de evidencias y la vivencias de los aprendizajes. *Perspectiva Educacional, Formación de Profesores*. 45(1): 11-24.
- Anderson, D., & Brenner, S. (2008). Seymour Benzer (1921–2007). *Nature*, 451(7175), 139-139. <https://doi.org/10.1038/451139a>
3. Andrade Pérez, E. (2009). Darwin o el falso conflicto entre la teoría de la Selección Natural y la hipótesis de la pangénesis. *Acta Biológica Colombiana*, 14, 63-76.
4. Astolfi, J. P. (1997). Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas. España: Díada Editora.
5. Ávila-Medrano, Brenda Alicia, & Ávila-Medrano, Elba Karina. (2020). *Ludwig Karl Martin Leonhard Albrecht Kossel*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3872392>
6. Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86. <https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>
7. Banet, E. y Ayuso, E. (1998), E. La herencia biológica en la educación secundaria: Reflexiones sobre los programas y estrategias de enseñanza. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. Abril V (16), 79-84
8. Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Introducción a la Genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 127-142.
9. Bateson, W., & Mendel, G. (2013). *Mendel's Principles of Heredity*. Courier Corporation.
10. Binda, N. U., & Balbastre-Benavent, F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Revista de Ciencias Económicas*, 31(2), 179-187.
11. Blackburn, G. M., Gait, M. J., Williams, D. M., & Loakes, D. (2006). *Nucleic Acids in Chemistry and Biology*. Royal Society of Chemistry.
12. Bowling, B. V., Acra, E. E., Wang, L., Myers, M. F., Dean, G. E., Markle, G. C., ... Huether, C. A. (2008). Development and Evaluation of a Genetics Literacy Assessment Instrument for Undergraduates. *Genetics*, 178(1), 15-22. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.079533>
13. Bugallo, R. A. (1994). Revisión Bibliográfica de investigaciones sobre genética. *Enseñanza de las ciencias* (12) 3, 150-163.
14. Calvo, G., Abello, M. C., & Báez, C. P. (2008). ¿Investigación educativa o investigación pedagógica? El caso de la investigación en el Distrito Capital. *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1(1), 163-173.
15. Calvo, G., Abello, M. C., & Báez, C. P. (2008). ¿Investigación educativa o investigación pedagógica? El caso de la investigación en el Distrito Capital. *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1(1), 163-173.
16. Champagne Queloz, A., Klymkowsky, M. W., Stern, E., Hafen, E., & Köhler, K. (2017). Diagnostic of students' misconceptions using the Biological Concepts Instrument (BCI): A

- method for conducting an educational needs assessment. *PloS One*, 12(5), e0176906.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176906>
17. Charlesworth, B., & Charlesworth, D. (2009). Darwin and Genetics. *Genetics*, 183(3), 757-766. <https://doi.org/10.1534/genetics.109.109991>
 18. Chevallard, Y. (1991). La transposición didáctica. *Del saber sabio al saber enseñado*. Ed Aiqué.
 19. Coca, D. M. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés. *Educación XXI*, 18(2), 215-235. <https://doi.org/10.5944/educxx1.14602>
 20. CSHL DNA Learning Center. (2018). *William Bateson (1861-1926)*. CSHL DNA Learning Center. <https://dnalc.cshl.edu/view/16206-biography-5-william-bateson-1861-1926-.html>
 21. Dhanda, J. S., & Chauhan, S. S. (2008). Structural Levels of Nucleic Acids and Sequencing. All India Institute of Medical Sciences. ed. Molecular Biology. (Department of Biochemistry edition).
 22. Diez de Tancredi, D. (2006). El concepto de gen y cromosoma, conocimiento estructurante de la Biología. Algunas aportaciones desde la investigación en enseñanza de las ciencias. *Revista de Investigación*, 59(1), 189-219.
 23. Diez de Tancredi, D. (2006). El concepto de gen y cromosoma, conocimiento estructurante de la Biología. Algunas aportaciones desde la investigación en enseñanza de las ciencias. *Revista de Investigación*, 59(1), 189-219.
 24. Diez de Tancredi, D., & Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de Investigación*, 56(1), 91-121.
 25. Faraco, M., Spelt, C., Bliet, M., Verweij, W., Hoshino, A., Espen, L., Prinsi, B., Jaarsma, R., Tarhan, E., de Boer, A. H., Di Sansebastiano, G.-P., Koes, R., & Quattrocchio, F. M. (2014). Hyperacidification of Vacuoles by the Combined Action of Two Different P-ATPases in the Tonoplast Determines Flower Color. *Cell Reports*, 6(1), 32-43.
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2013.12.009>
 26. Gayon, J. (2016). From Mendel to epigenetics: History of genetics. *Comptes Rendus Biologies*, 339(7), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2016.05.009>
 27. Guarín, A., Medina, C., & Posso, C. (2018). Calidad, cobertura y costos ocultos de la educación secundaria pública y privada en Colombia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 81, 61-114. <https://doi.org/10.13043/DYS.81.2>
 28. Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill Mexico.
 29. Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26.
 30. Juárez, M. ; Cháscales, A. y Manresa, A. (2005). Construcción de maquetas de ADN. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. 45(1): 55- 60
 31. Lipshitz, H. D. (2021). The Origin of GENETICS. *Genetics*, 217(1), 1-2.
<https://doi.org/10.1093/genetics/iyaa024>

32. Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4), 183-189.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655775>
33. Melo Salcedo, L. C. (2013). De la Polisemia de los Conceptos. El concepto Gen como caso Particular. *Revista Bio-grafía Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 6(10), 102.
<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.6num.10bio-grafia102.107>
34. Moll, J. W. (1889). Intracellular Pangenesis. *Botanical Gazette*, 14(3), 54-66.
35. Múnevar, R., & Quintero, J. (2000). Investigación pedagógica y formación del profesorado. *Revista Iberoamericana de Educación*, 25(1), 45-52.
36. Múnevar, R., & Quintero, J. (2000). Investigación pedagógica y formación del profesorado. *Revista Iberoamericana de Educación*, 25(1), 45-52.
37. Park, S., & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>
38. Peirson, B. R. E. (2013). *Wilhelm Johannsen's Genotype-Phenotype Distinction*.
<https://hpsrepository.asu.edu/handle/10776/4206>
39. Pierce, B. A. (2009). *Genética: Un enfoque conceptual*. Ed. Médica Panamericana.
40. Pino, I. (2003). La utilización de mapas de conceptos como técnica para identificar atributos de conceptos de ADN y gen aprendidos por los estudiantes de 9 grado de Educación Básica. *Revista de Investigación*, (53), 71-90.
41. Pole, K. (2009). Diseño de metodologías mixtas Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas. *Renglones: revista arbitrada de Ciencias Sociales y Humanidades*, 60, 37-42.
42. Rassetto, M. J. (2018). La Didáctica de la Biología en la formación de profesores en la Argentina. *Cuadernos de Educación*, (16), 132-143.
43. Roll-Hansen, N. (2014). Commentary: Wilhelm Johannsen and the problem of heredity at the turn of the 19th century. *International Journal of Epidemiology*, 43(4), 1007-1013.
<https://doi.org/10.1093/ije/dyu066>
44. Tabery, J., Piotrowska, M., & Darden, L. (2021). Molecular Biology. En E. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (4.ª ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/molecular-biology/>
45. Tashakkori, A., & Teddlie, C. (Eds.). (2003a). *Handbook of Mixed Methods in social and behavioural research*. Thousand Oaks, CA: Sage
46. Tsui, C.-Y., & Treagust, D. (2010). Evaluating Secondary Students' Scientific Reasoning in Genetics Using a Two-Tier Diagnostic Instrument. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1073-1098. <https://doi.org/10.1080/09500690902951429>
47. Usaquén Martínez, W. (2009). El origen de las especies y su relación con el inicio de la actual teoría de la herencia. *Acta Biológica Colombiana*, 14, 77-84.
48. Vasco Montoya, E. (1997). *La enseñanza en el pensamiento de Vives y Comenius*. Cooperativa Ed. Magisterio.
49. Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid. *Nature*, 171(4361), 964-967. <https://doi.org/10.1038/171964b0>

ANEXOS

A. INSTRUMENTO PARA LA EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS EN GENÉTICA (GLAI) (* para las respuestas correctas)

El siguiente cuestionario forma parte de un proyecto de investigación llevado a cabo por estudiantes de posgrado de la Universidad Pedagógica, cuyo objetivo es determinar las dificultades que enfrentan los estudiantes de primeros semestres universitarios en la comprensión de diferentes conceptos en genética. Por favor, desarrolle este cuestionario con base en los conocimientos que posee en esta área. Este cuestionario no supone calificación alguna para su asignatura, por lo cual se le solicita cordialmente diligenciarlo de forma completamente honesta, ya que, de otra manera, los resultados del proyecto se podrían ver comprometidos. Cabe aclarar que su identidad y sus datos permanecerán anónimos en todo momento, y solo se solicitan con el fin de poder llevar un registro de las respuestas realizadas a este cuestionario.

¡Muchas gracias por su colaboración!

Sección 1: Información socio-demográfica

- Edad: _____
- Sexo: M/F
- ¿Pertenece a algún grupo étnico? (Población Negra, Afrocolombiana, Raizal y Palenquera (NARP), Población Gitana o Rrom, Pueblos indígenas, ninguno): _____
- Pregrado que cursa actualmente: _____
- Semestre que cursa (relacionado al porcentaje de avance de la carrera): _____
- Asignatura bajo la cual toma este cuestionario:
 - o Biología General - Grupo _____
- Número de veces que ha cursado la asignatura: _____
- ¿Ha cursado otras asignaturas relacionadas con contenidos en el campo de la genética?
- J. ¿Por qué considera que son importantes los conocimientos en genética para su desempeño profesional?: (Respuesta abierta)
- Usted es egresado de un colegio: Público __ Privado __
- Ciudad/Municipio de origen: _____
- Ciudad/Municipio donde se ubicaba el colegio donde estudió el bachillerato: _____
- Estrato socioeconómico de su residencia: _____

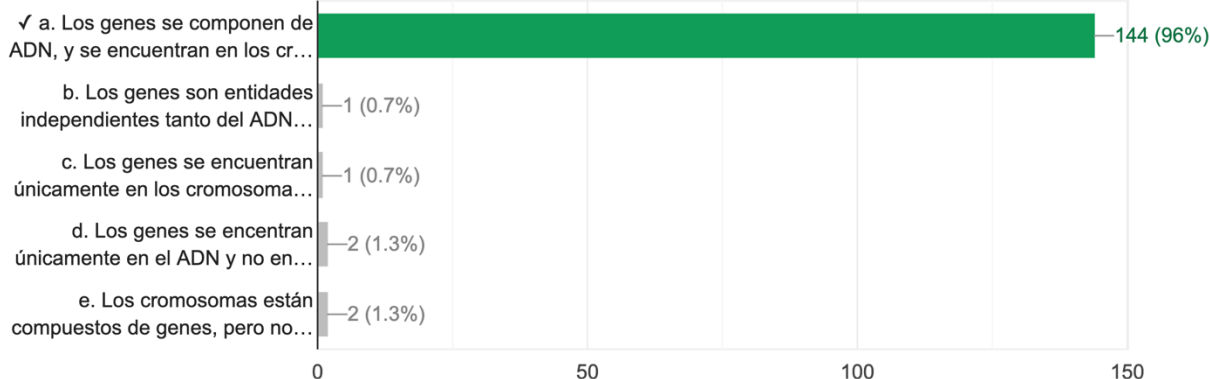
Sección 2: Instrumento para la evaluación de conocimientos en Genética

Por favor diligencie esta sección del cuestionario con los conocimientos adquiridos en el módulo de la asignatura que contenía esta temática, y en otras asignaturas (si aplica).

Figura A1-30. Resultados GLAI por pregunta (1-30)

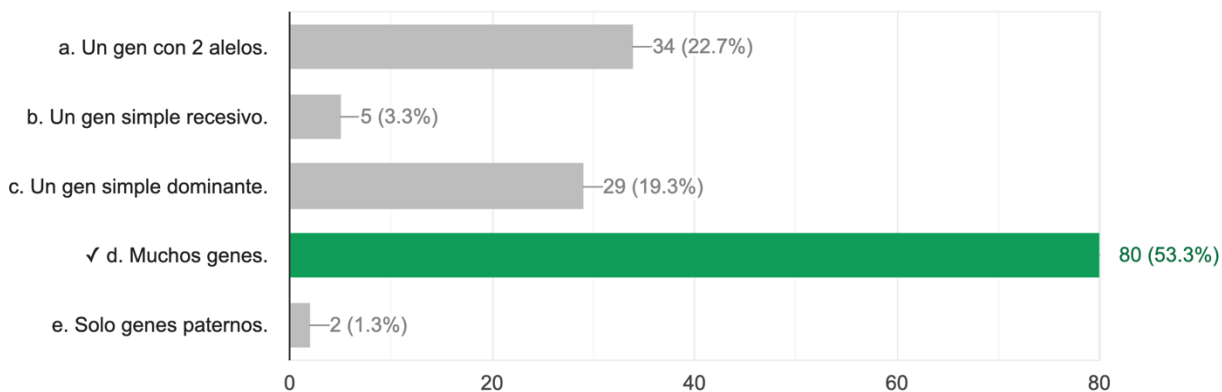
1. ¿Cuál es la relación entre genes, ADN y cromosomas?

144 / 150 correct responses



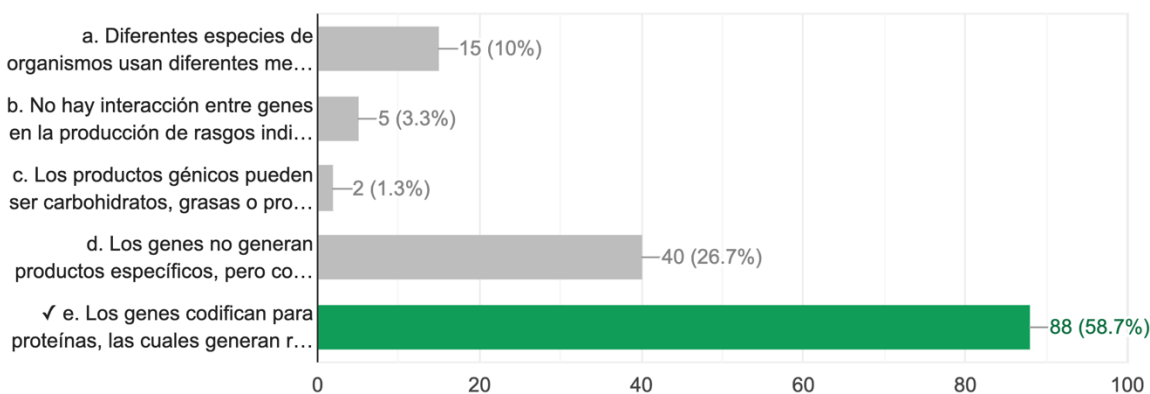
2. La altura en los humanos está parcialmente determinada por nuestros genes. Cuando las condiciones ambientales se mantienen constantes, ¿la estatura probablemente está influenciada por:

80 / 150 correct responses



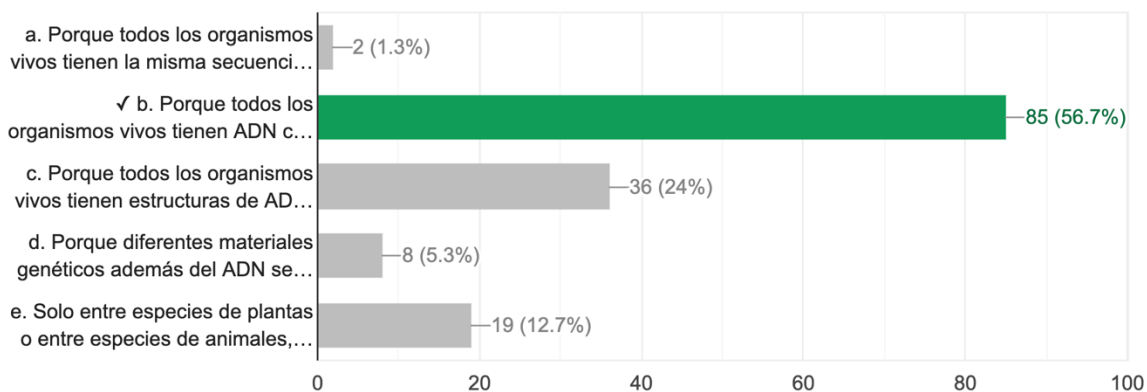
3. Nuestra comprensión de cómo los genes funcionan indica que:

88 / 150 correct responses



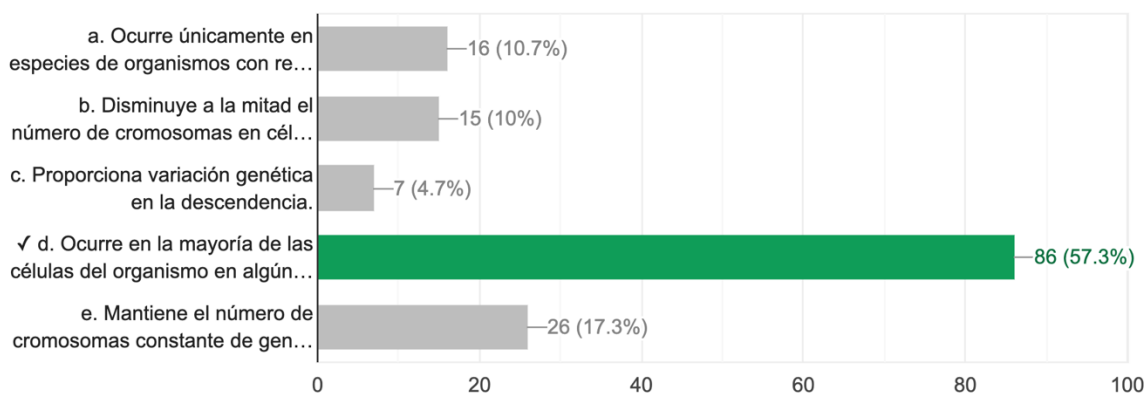
4. Ingeniería genética molecular es posible

85 / 150 correct responses



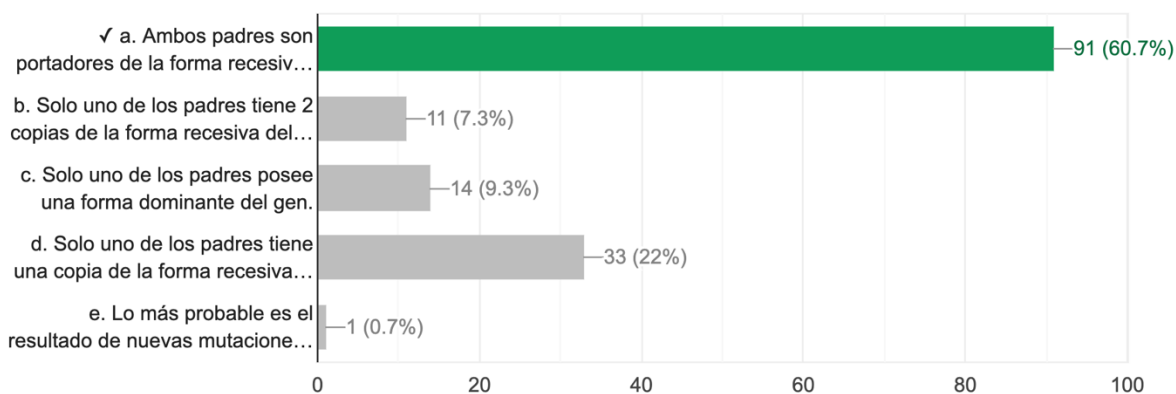
5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es INCORRECTA en relación a la meiosis?

86 / 150 correct responses



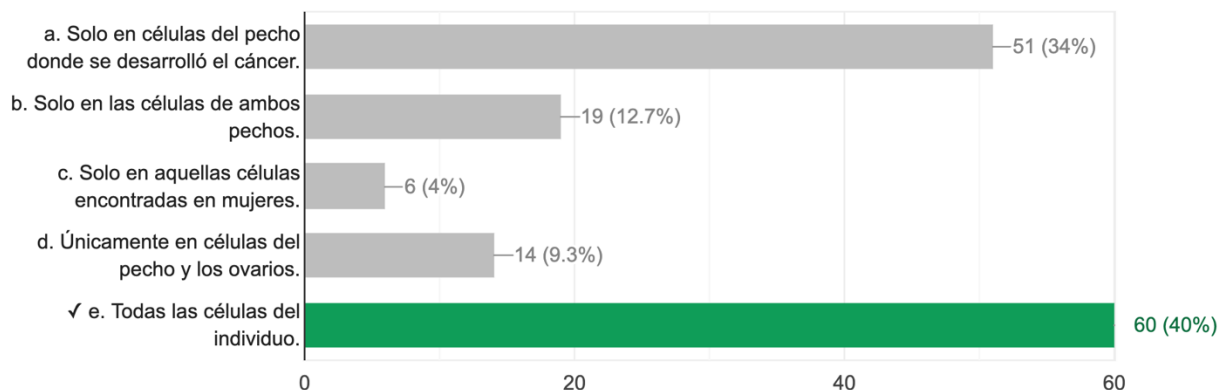
6. Algunas veces, un rasgo parece desaparecer en una familia y reaparecer en generaciones posteriores. Si ninguno de los padres tiene el rasgo, ¿qué concluye usted acerca de la herencia del rasgo?

91 / 150 correct responses



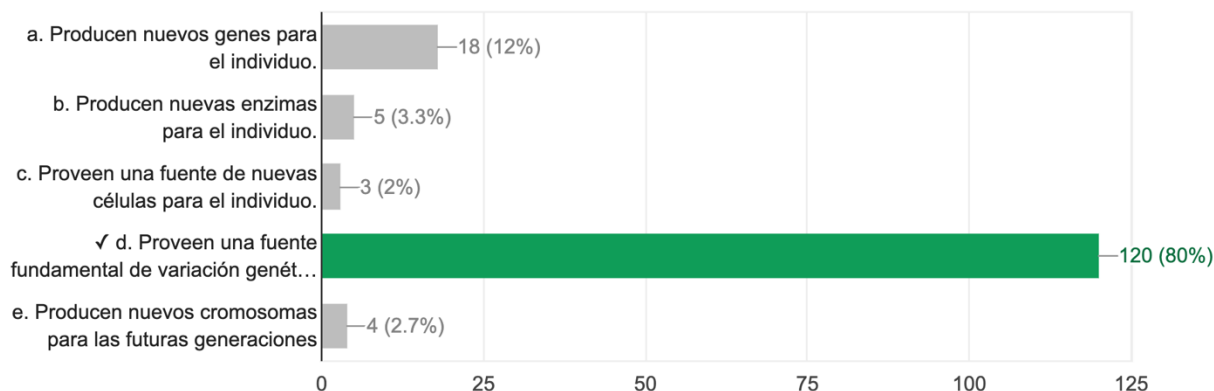
7. Se encontró que un individuo posee una mutación en un gen asociado con el cáncer de seno. ¿En qué células se encuentra esta forma del gen localizada?

60 / 150 correct responses



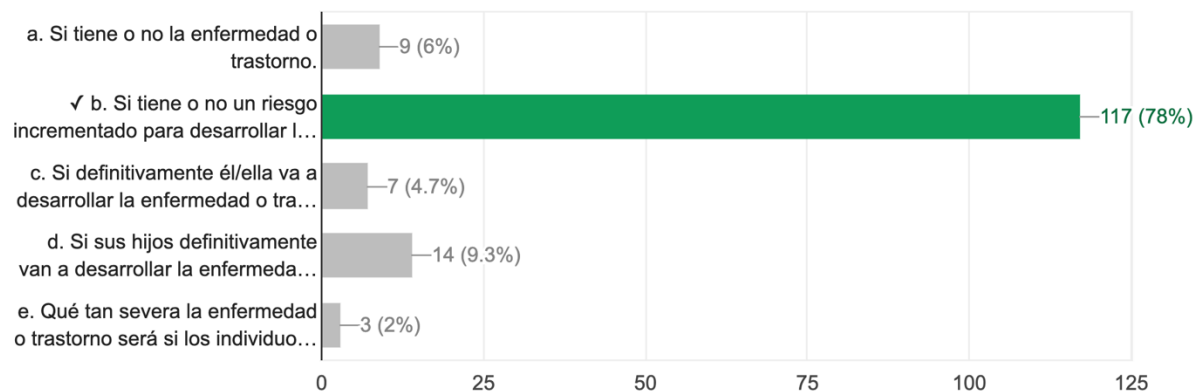
8. Las mutaciones en el ADN ocurren en los genomas de la mayoría de los organismos, incluidos los humanos. ¿Cuál es el resultado más importante de estas mutaciones?

120 / 150 correct responses



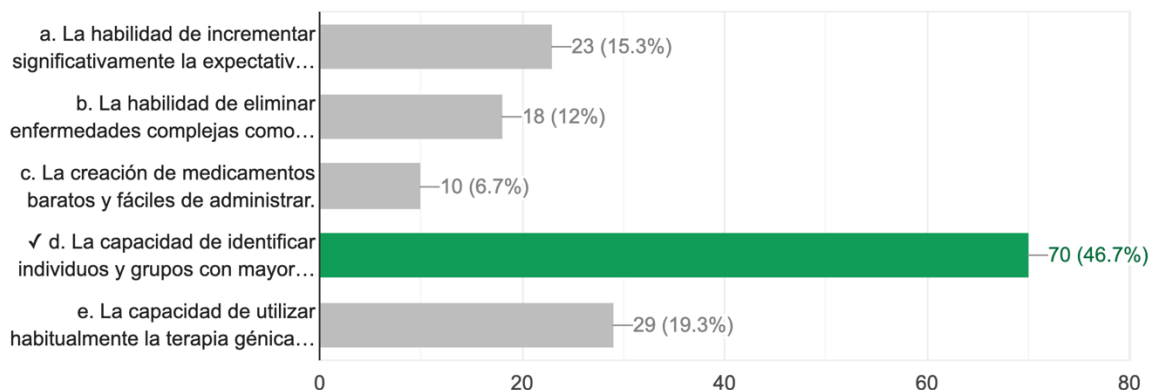
9. Múltiples genes están asociados con enfermedades complejas, como el cáncer y los trastornos mentales. Cuando un individuo se evalúa para estos genes, ¿qué indican los resultados?

117 / 150 correct responses



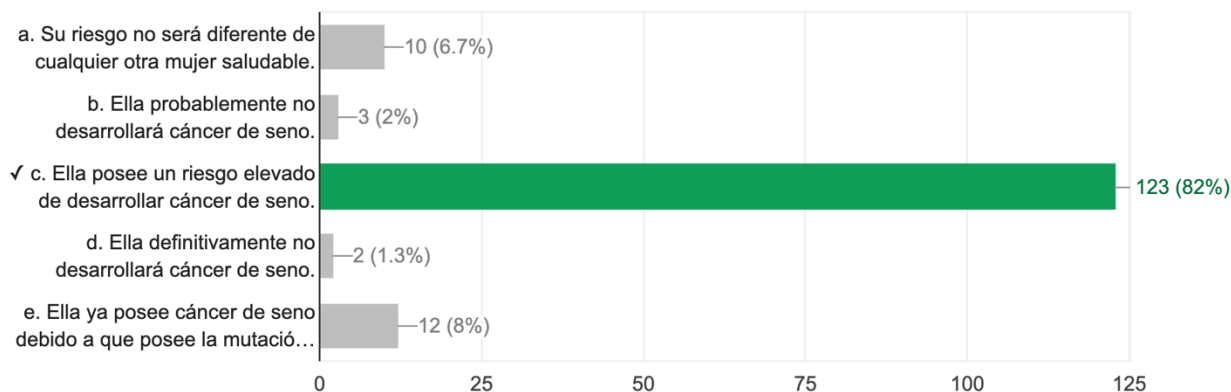
10. ¿Cuál de los siguientes es un beneficio actual de la aplicación de la genética y las tecnologías genéticas en el cuidado de la salud?

70 / 150 correct responses



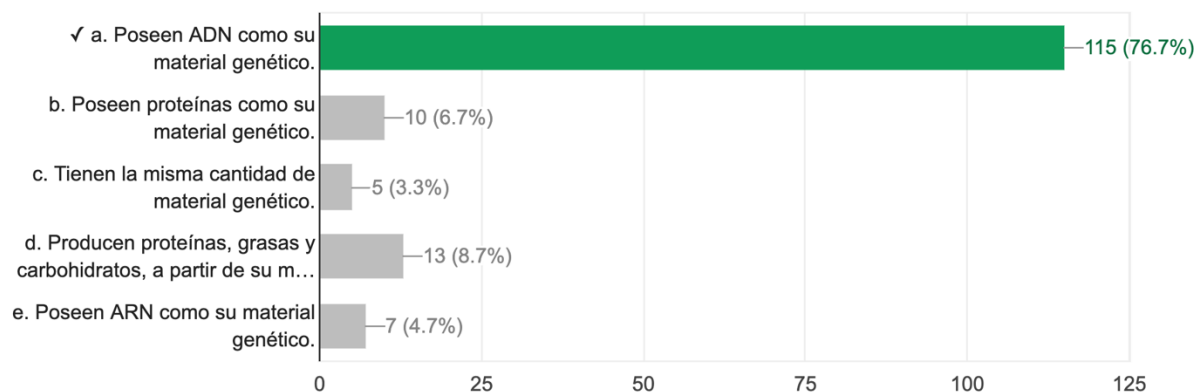
11. Se informó a una mujer que posee una mutación asociada al desarrollo de cáncer de seno. ¿Cómo influencia esto su probabilidad de desarrollar esta patología?

123 / 150 correct responses



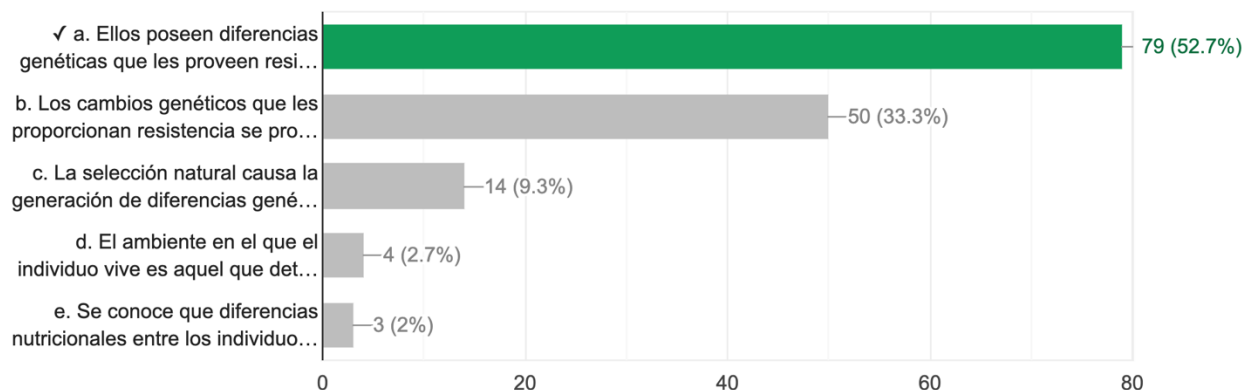
12. Muchos genetistas, estudian el material genético de diferentes organismos, como el ratón, la mosca de la fruta y la levadura. Ellos son capaces...icamente todos los diferentes tipos de organismos:

115 / 150 correct responses



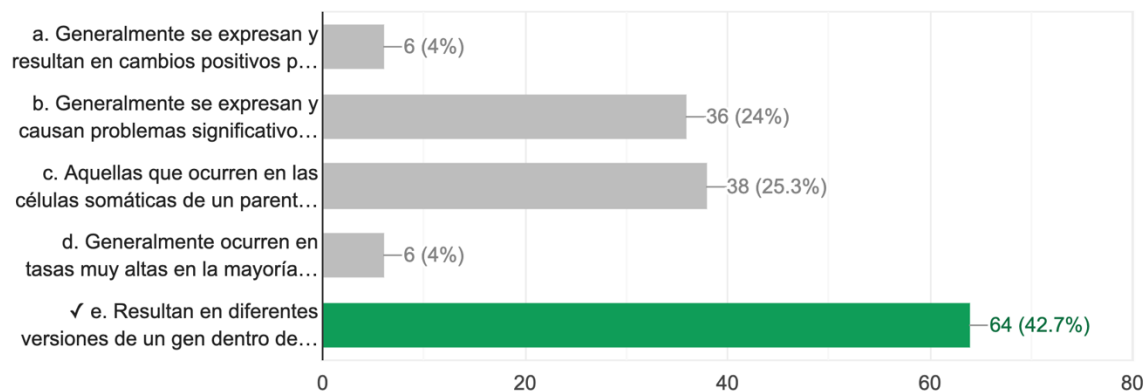
13. Debido a que el VIH se ha diseminado alrededor del mundo, se conoce que algunos individuos son resistentes a los efectos del virus, incluso si están diagnosticados como VIH positivos, ¿Por qué?:

79 / 150 correct responses



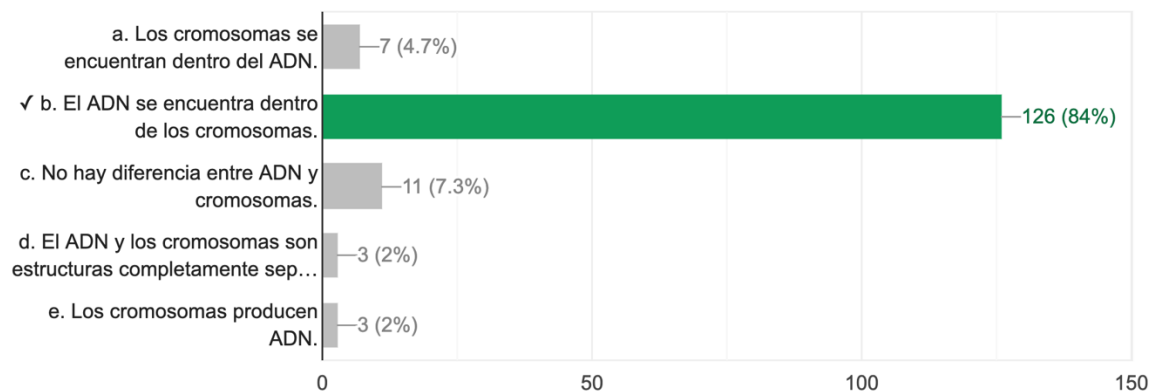
14. ¿Cuál de las siguientes es una característica de las mutaciones en el ADN?

64 / 150 correct responses



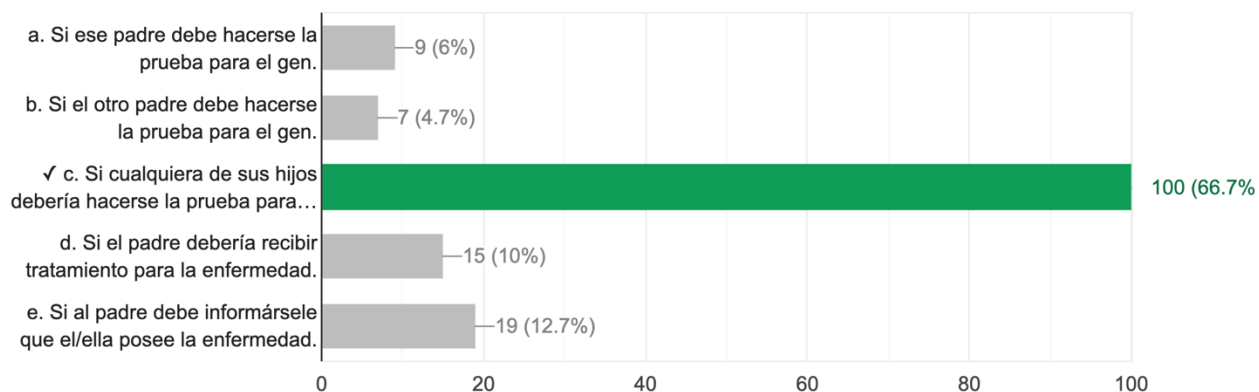
15. ¿Cuál es la relación entre ADN y cromosomas en organismos superiores?

126 / 150 correct responses



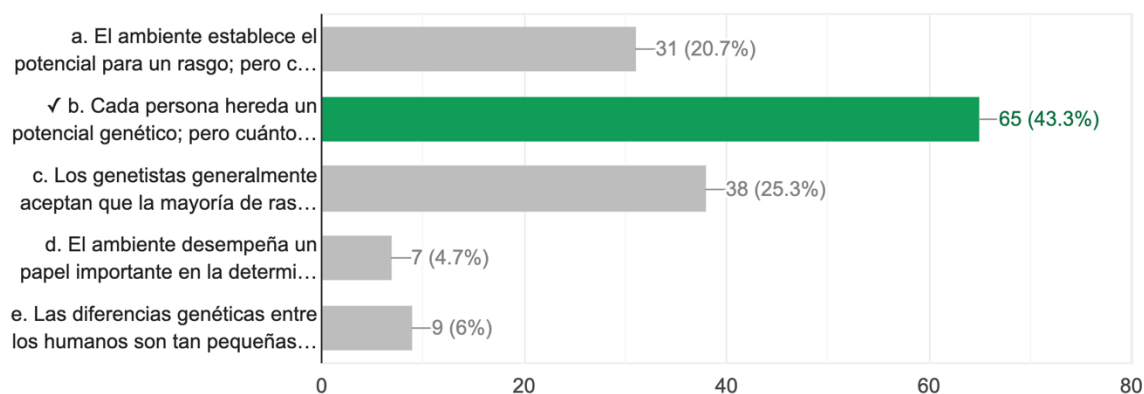
16. La enfermedad de Huntington es un desorden genético causado por un gen dominante. Sus síntomas inician en la adultez y la enfermedad es...de los padres es diagnosticado con la enfermedad?

100 / 150 correct responses



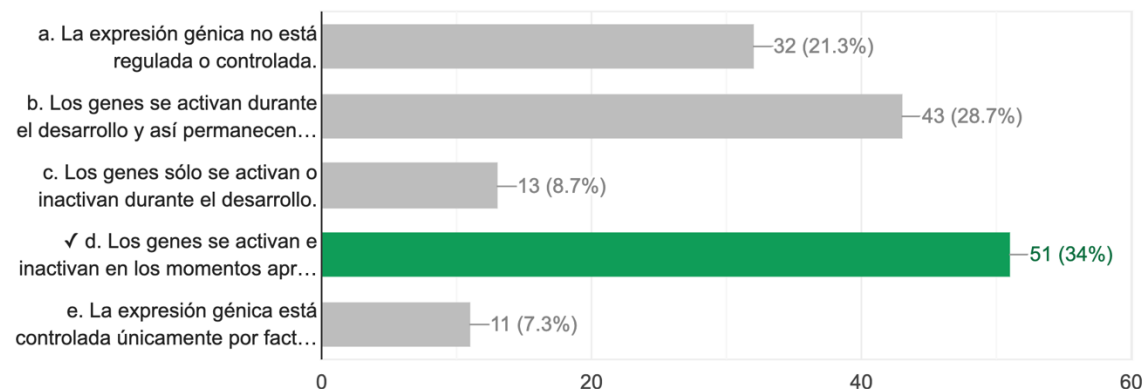
17. Respecto a los rasgos complejos, como el coeficiente intelectual (IQ), el cáncer de pulmón, el cáncer de próstata, entre otros, ¿cómo describen ... de la composición genética y el medio ambiente?

65 / 150 correct responses



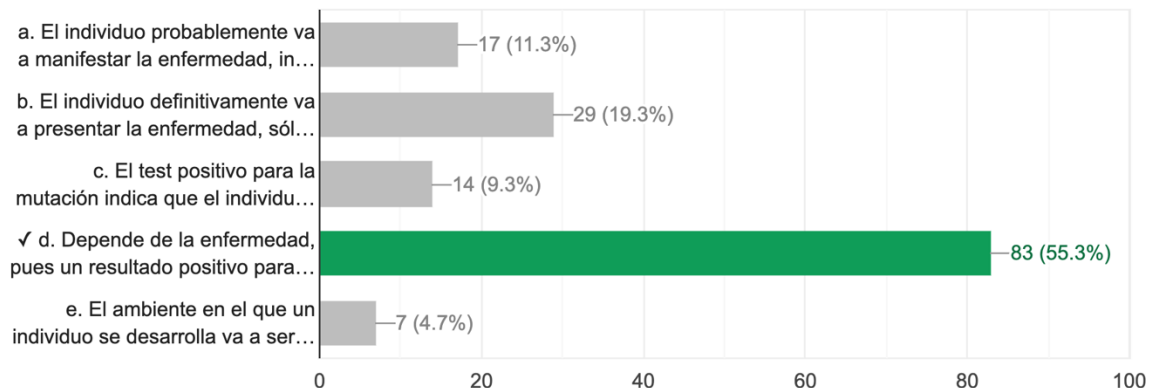
18. ¿De qué manera la expresión de los genes está controlada o regulada?

51 / 150 correct responses



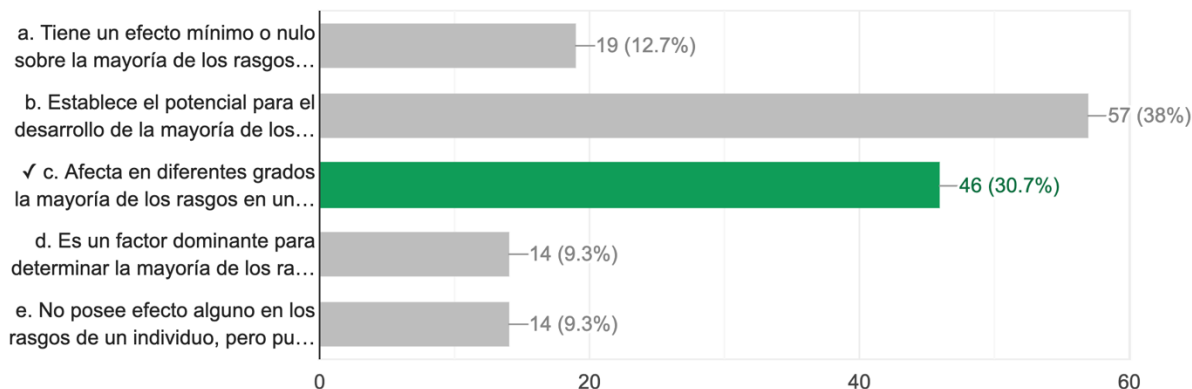
19. Si un individuo se realiza una prueba genética para una mutación que causa una enfermedad particular, y el resultado es positivo, ¿Qué significará eso probablemente?

83 / 150 correct responses



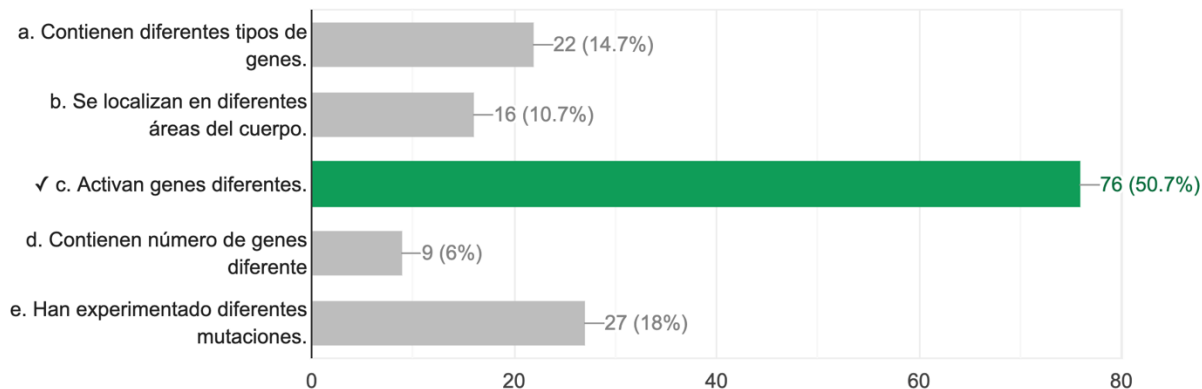
20. ¿Qué efecto, si aplica, tiene el ambiente sobre el desarrollo de los rasgos de un individuo?

46 / 150 correct responses



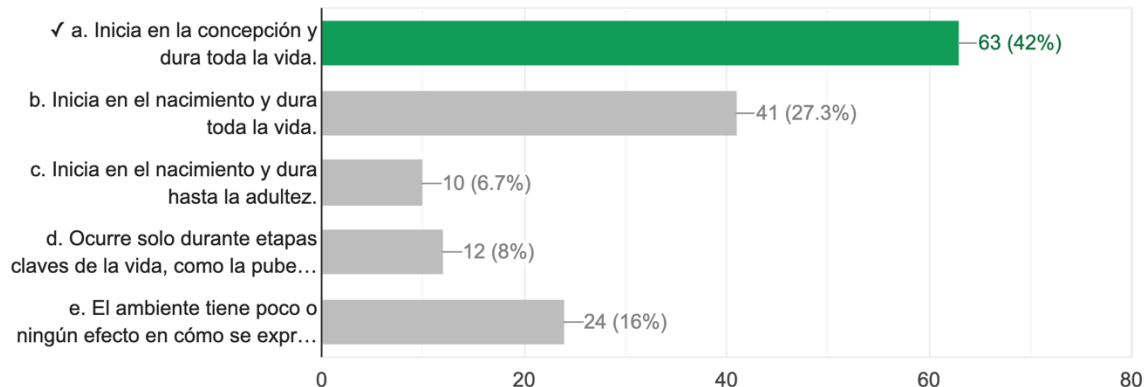
21. Sus células musculares, nerviosas, epiteliales tienen diferentes funciones porque:

76 / 150 correct responses



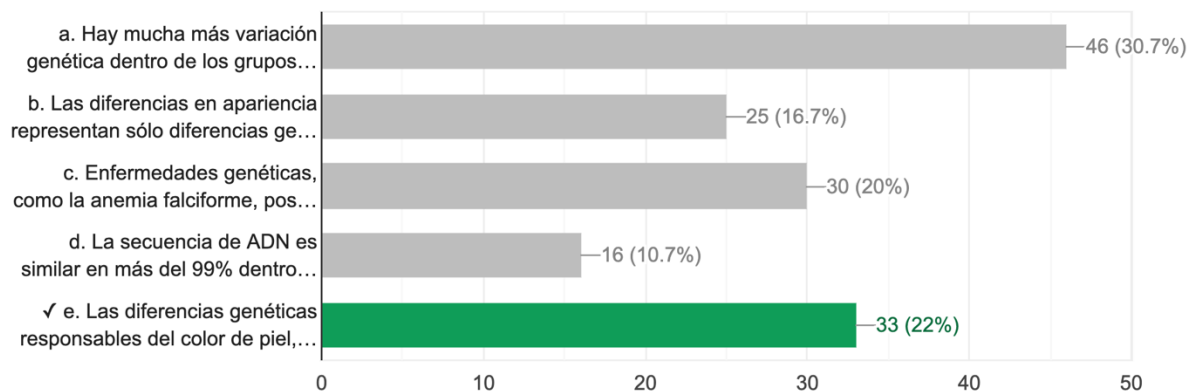
22. ¿En qué momentos durante la vida de un individuo el ambiente influencia la expresión de sus genes?

63 / 150 correct responses



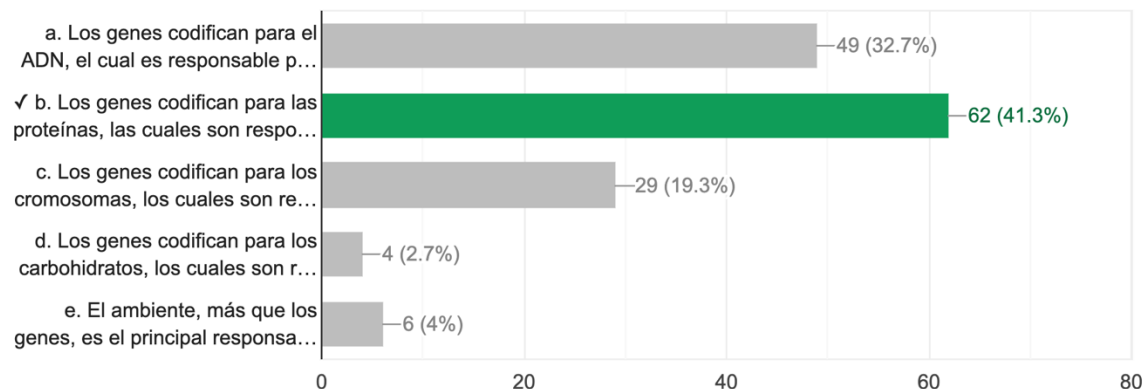
23. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es INCORRECTA respecto a las diferencias genéticas entre grupos étnicos?

33 / 150 correct responses



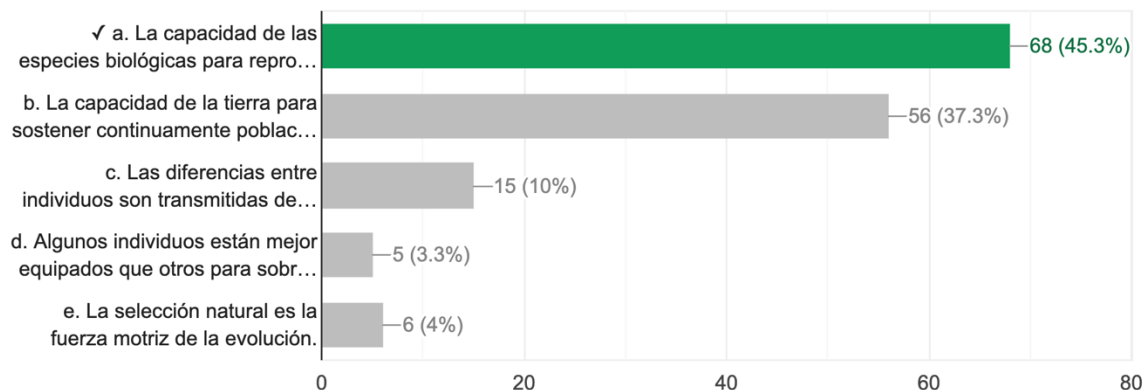
24. ¿Cuál es la relación entre genes y rasgos expresados en individuos?

62 / 150 correct responses



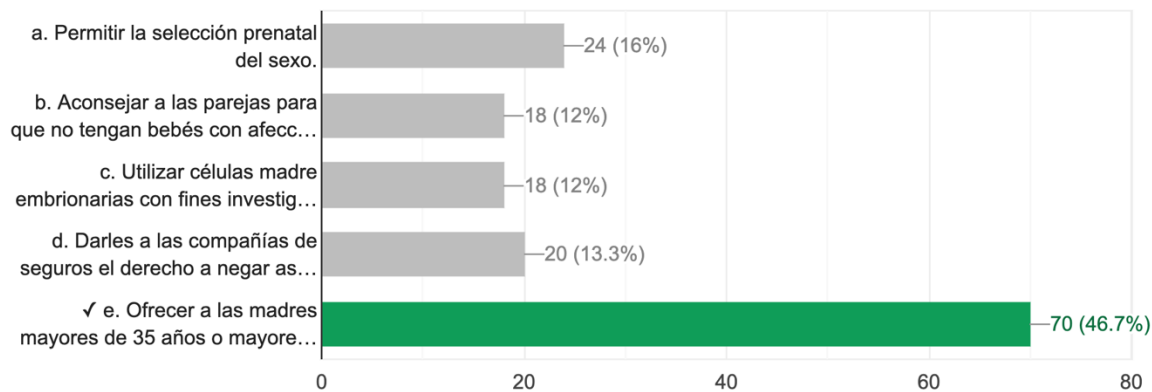
25. ¿Cuál de los siguientes NO refleja de forma precisa los principios básicos de la evolución propuestos por Charles Darwin?

68 / 150 correct responses



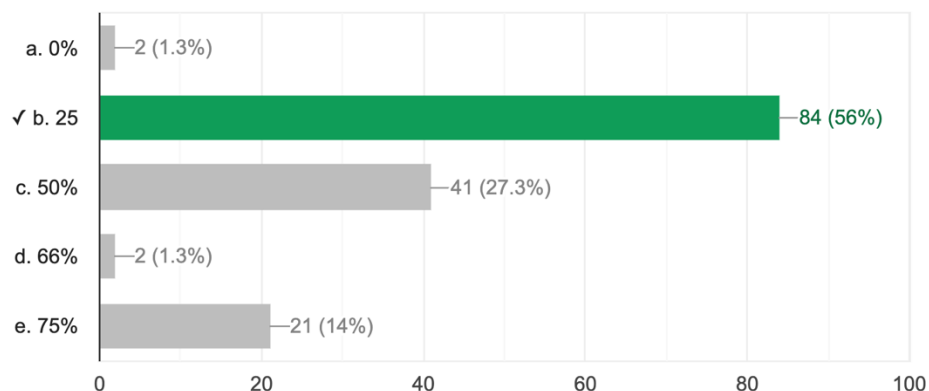
26. ¿Cuál de las siguientes no se considera una preocupación ética o legal?

70 / 150 correct responses



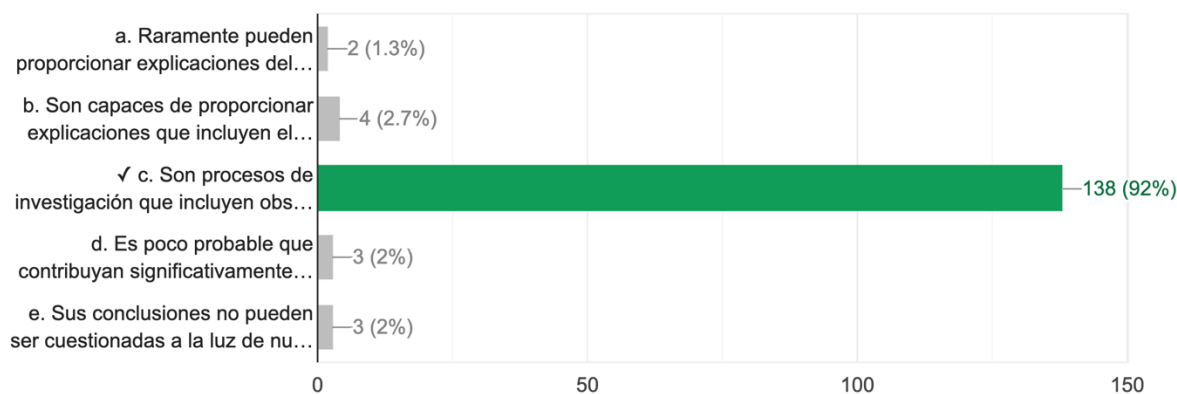
27. La fibrosis quística (FQ) es un desorden recesivo, lo cual implica que un individuo debe poseer dos copias anormales de un gen de FQ para verse ...opia anormal del gen, se vea afectado por la FQ?

84 / 150 correct responses



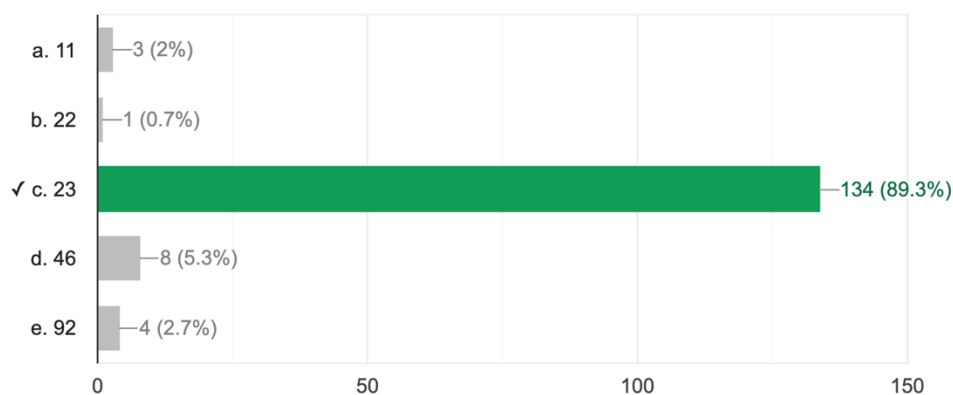
28. ¿Cuál de las siguientes es una afirmación correcta acerca de la ciencia y el método científico?

138 / 150 correct responses



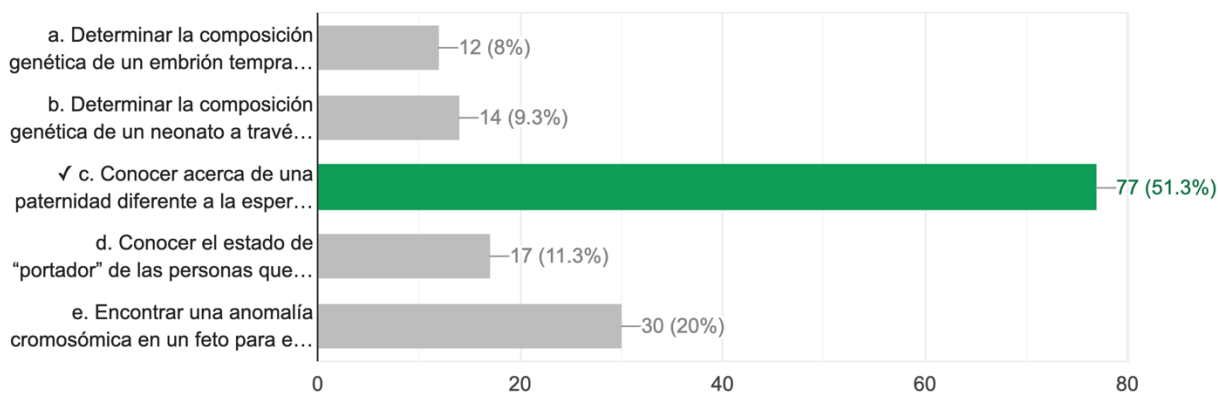
29. Las células musculares humanas contienen 46 cromosomas. ¿Cuántos cromosomas posee un óvulo humano sin fertilizar?

134 / 150 correct responses



30. ¿Cuál es un ejemplo de una consecuencia inesperada cuando se utilizan las tecnologías genéticas actuales?

77 / 150 correct responses



B. TABLAS DE DATOS

Tabla B1. Tabla de distribución de frecuencias de variables sociodemográficas y contextuales

Categoría	General	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Sexo				
Masculino	80	23	19	37
Femenino	70	18	20	32
Total	150	41	39	70
Edad				
16	9	7	1	1
17	29	14	6	9
18	43	11	8	24
19	26	2	7	17
20	17	2	10	5
21	6	0	4	2
22	4	0	2	2
23	6	2	0	4
24	2	0	1	1
25	3	1	0	2
26	1	0	0	1
28	1	0	0	1
29	2	1	0	1
37	1	1	0	0
Grupo étnico				
Ninguno	144	0	0	0
Pueblos indígenas	5	2	0	3
Población NARP*	1	0	0	1
Carrera que cursa				
Zootecnia	35	0	7	28
Enfermería	22	4	7	11
Ingeniería Agrícola	19	3	7	9
Química	17	17	0	0
Psicología	11	7	4	0
Medicina Veterinaria	10	10	0	0
Estadística	9	0	0	9
Nutricion y Dietetica	7	0	7	0
Ingeniería Agronómica	6	0	2	4
Geología	5	0	5	0
Ingeniería Mecánica	3	0	0	3
Filología e Idiomas	3	3	0	0
Geografía	3	0	0	3

Semestre que cursa				
1	84	36	16	32
2	26	3	8	15
3	11	0	5	6
4	10	1	7	2
5	2	0	0	2
6	8	0	1	7
7	1	0	0	1
8	1	0	0	1
9	1	0	0	1
10	6	1	2	3
Número de veces que ha cursado la asignatura				
1	145	41	37	67
2	4	0	1	3
3	1	0	1	0
Ha cursado otras asignaturas previas				
No	138	39	33	66
Sí	12	2	6	4
Egresado de colegio				
Público	79	17	21	41
Privado	71	24	18	29
Estrato socioeconómico de la residencia				
1	12			
2	59			
3	64			
4	13			
5	2			
Tipo de interés				
1	19	5	4	10
2	47	20	14	13
3	30	16	4	10
4	11	0	6	5
5	43	0	11	32

* NARP: Negra, Afrocolombiana, Raizal y Palenquera

Tabla B2. DM presentada por temática a nivel general y por grupos

Categoría	G	DM		
		1	2	3
Nat. del material gen.	66	72,6	67,9	60,9
Transmisión	66	78,0	67,3	58,6
Expresión génica	45	57,3	51,3	32,9
Regulación génica	62	66,5	61,5	58,9
Evolución	49	39,8	42,7	34,3
Genética y sociedad	61	74,4	65,4	57,5

Tabla B3. PM por carrera y grupo de carrera

Por carrera	PM carrera	GLAI MS	
		Grupo	PM grupo
Ingeniería Agrícola	14		
Ingeniería Agronómica	16	CA	15
Zootecnia	16		
Filología e Idiomas	11	CH	11
Geografía	11		
Estadística	13		
Ingeniería Mecánica	17	CE	18
Geología	21		
Química	21		
Medicina Veterinaria	20		
Enfermería	19	CS	20
Nutrición y Dietética	20		
Psicología	20		

*Convenciones: CA: Ciencias Agrarias; CH: Ciencias Humanas;
CNE: Ciencias Naturales y Exactas; CS: Ciencias de la Salud

Figura 2.

Caracterización sociodemográfica de la muestra de la población estudiada.

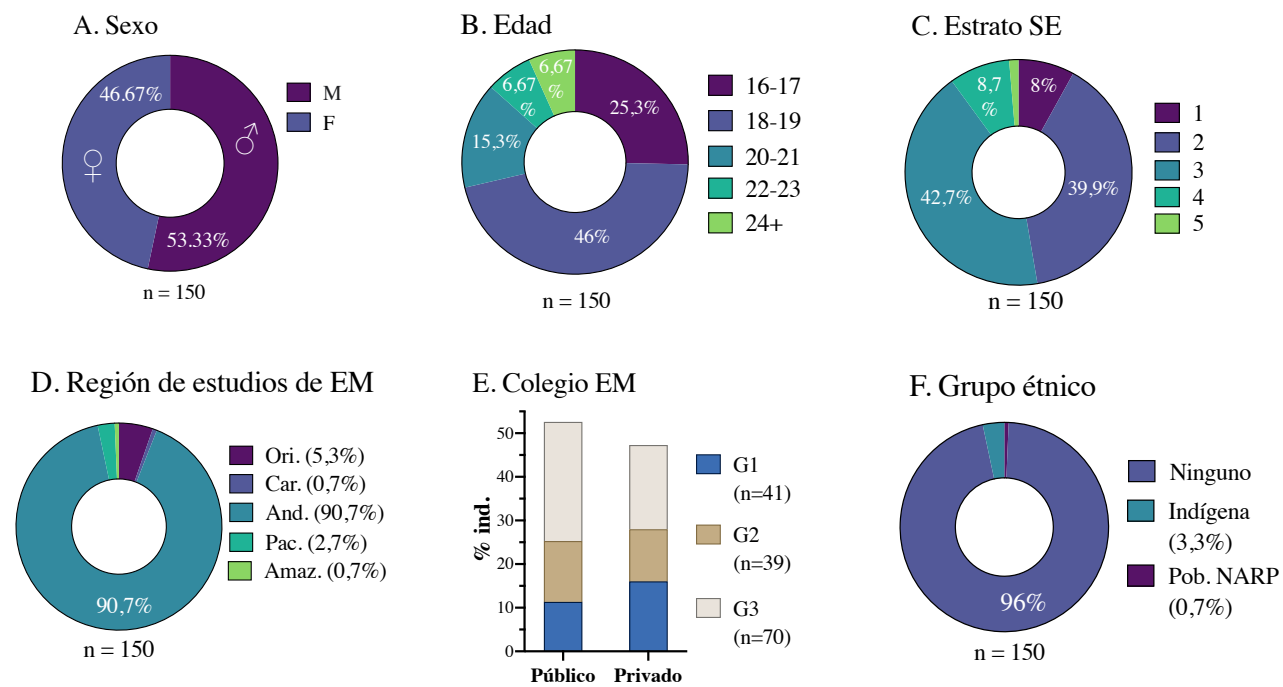


Figura 3.

Descripción del contexto académico donde se aplicó el instrumento.

