

Investigación basada en diseño (IBD): Una propuesta socioconstructivista e investigativa para el aprendizaje de la herencia y la reproducción en la educación secundaria

Design-Based Research (DBR): A Socioconstructivist and Investigative Proposal for Learning about Heredity and Reproduction in Secondary Education

Investigação baseada no desenho (IBD): Uma proposta sociocontrutivista e investigativa para a aprendizagem da herança e reprodução na educação do ensino médio

María González-Rovira*

 <https://orcid.org/0000-0001-8166-7621>

Gabriela Delord**

 <https://orcid.org/0000-0003-2283-5976>

Rafael Porlán***

 <https://orcid.org/0000-0003-2068-7092>

Resumen: En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, abordar las ideas espontáneas del alumnado resulta clave para promover aprendizajes significativos. Este estudio se enmarca en un enfoque socioconstructivista e investigativo, y tiene como objetivo analizar el impacto de una Unidad Didáctica Investigativa (UDI) sobre herencia y reproducción en el aprendizaje de estudiantes de educación secundaria. La intervención se desarrolló mediante una Investigación Basada en Diseño (IBD), aplicada en un centro educativo de Sevilla (España) en una muestra de 29 estudiantes. A partir de un cuestionario inicial para conocer las ideas del alumnado, se diseñaron contenidos, problemas y actividades orientados a favorecer la evolución de las mismas. La evaluación, de carácter formativo, permitió identificar progresiones de aprendizaje significativas.

* Estudiante predoctoral del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Universidad de Sevilla (US). E-mail: <mgonzalez13@us.es>.

** Doctora en Educación por la Universidad de Sevilla (US). Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la US. E-mail: <gcattani1@us.es>.

*** Doctor en Educación por la Universidad de Sevilla (US). Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la US. E-mail: <rporlan@us.es>.

Los resultados, representados mediante escaleras de aprendizaje, evidencian el potencial del enfoque empleado para transformar las ideas iniciales del alumnado, fortalecer su alfabetización científica y promover una enseñanza conectada con la realidad.

Palabras clave: Herencia y reproducción. Investigación Basada en Diseño (IBD). Ideas de los alumnos.

Abstract: In the field of science education, addressing students' spontaneous ideas is key to promoting meaningful learning. This study is framed within a socioconstructivist and inquiry-based approach and aims to analyze the impact of an Investigative Teaching Unit (ITU) on heredity and reproduction in the learning of secondary school students. The intervention was developed through Design-Based Research (DBR) and implemented in an educational center in Seville, Spain, with a sample of 29 students. Based on an initial questionnaire to explore students' ideas, content, problems, and activities were designed to support the development of those ideas. Formative assessment made it possible to identify significant learning progressions. The results, represented through learning ladders, highlight the potential of the approach to transform students' initial conceptions, strengthen their scientific literacy, and promote a form of teaching that is connected to real-life contexts.

Keywords: Heredity and Reproduction. Design-Based Research (DBR). Students' Ideas.

Resumo: No ensino de ciências, abordar as ideias espontâneas dos alunos é fundamental para promover uma aprendizagem significativa. Este estudo, baseado em uma abordagem socioconstrutivista e no ensino por investigação, visa analisar o impacto de uma Unidade de Ensino de Pesquisa (UDP) sobre herança genética e reprodução na aprendizagem de alunos do ensino médio. A intervenção foi desenvolvida por meio de Pesquisa Baseada em Design (DBR) e implementada em uma escola em Sevilha, Espanha, com uma amostra de 29 alunos. Com base em um questionário inicial para explorar as ideias dos alunos, conteúdos, problemas e atividades foram elaborados para promover seu desenvolvimento. A avaliação formativa identificou progressões significativas de aprendizagem. Os resultados, representados por meio de escadas de aprendizagem demonstram o potencial da abordagem utilizada para transformar as ideias iniciais dos alunos e fortalecer sua alfabetização científica o que promoveu um ensino mais conectado à realidade.

Palavras-chave: Herança e reprodução. Investigação Basada no Desenho (IBD). Ideias dos alumnos.

Introducción

El socioconstructivismo se ha consolidado como un paradigma central en la enseñanza de las ciencias, fundamentado en la idea de que las personas construyen activamente su conocimiento a partir de sus experiencias y concepciones y de la interacción con su entorno (Vygotsky, 2009). Según Pozo y Gómez (2006), las personas, a lo largo de su vida, desarrollan concepciones informales sobre los fenómenos naturales. En el caso del alumnado, estas concepciones *espontáneas* desempeñan un papel crucial en el aprendizaje de la ciencia escolar (Caballero, 2008), ya sean las que forman parte de su mundo de significados previos o las que elaboran “*in situ*” ante un reto planteado por el o la docente. La importancia de estas ideas ha sido ampliamente reconocida en la literatura (Campanario y Otero, 2000; Mahmud y Gutiérrez, 2010; Solís *et al.*, 2016). Aunque suelen ser limitadas, e incluir errores en relación con el conocimiento científico, su identificación constituye un punto de partida valioso para la enseñanza, pues permite conocer los modelos mentales del alumnado y sus obstáculos (Astolfi, 2003; Pérez *et al.*, 2018), pudiendo diseñar actividades que promuevan su evolución hacia ideas más complejas (Duit, 2009; Jiménez-Liso *et al.*, 2021). En el caso de la enseñanza de la Biología en la educación secundaria es esencial tomarlas en consideración para facilitar una comprensión profunda y significativa de los contenidos escolares y, en particular, de las leyes de la herencia y la reproducción (Íñiguez y Puigcerver, 2013; Ruiz *et al.*, 2017).

Una dificultad que presentan las ideas espontáneas es que se generan desde el pensamiento concreto (Campanario y Otero, 2000; Hernández *et al.*, 2016), mientras que la ciencia estudia, en parte, fenómenos que no podemos ver y tocar. Es decir, las ideas de los estudiantes se mueven en

el nivel *meso* de la realidad (lo directamente observable) mientras que la ciencia profundiza en los niveles *micro* y *macro* a través de modelos abstractos (García, 1998). Por eso, cuando tratamos de enseñar los contenidos solamente explicando estas ideas abstractas, muchos alumnos suelen no entenderlas, alejándose de un aprendizaje significativo (Ausubel *et al.*, 1983) y de una auténtica alfabetización científica (Gil y Vilches, 2006).

Por tanto, este enfoque se basa en la premisa de que los estudiantes son *seres epistémicos* capaces de construir conocimientos a través de una *indagación orientada* (De Alba y Porlán, 2020; Delord, 2020; Solís *et al.*, 2016), siempre que tengan una implicación activa (Asiú *et al.*, 2021; Pérez *et al.*, 2017; Rivero y Porlán, 2017; Talanquer, 2015). En este marco, el rol del docente debe ser el de *orientar y andamiar* (Bruner, 1978), proporcionando *actividades de contraste* (Delord, 2020) que den el apoyo necesario para que los estudiantes puedan explorar, construir y complejizar sus ideas. Una estrategia muy utilizada dentro del marco socioconstructivista y en la línea de la investigación en el aula, es el *Aprendizaje Basado en Problemas* (ABP), según el cual los estudiantes son enfrentados a problemas reales o simulados a los que deben dar respuesta con la guía del docente (Arpí *et al.*, 2012; Vilela *et al.*, 2025). Este enfoque no solo mejora la construcción conceptual, sino que desarrolla habilidades esenciales en el ámbito científico, como la comunicación, el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo (Lucero, 2003).

Teniendo presente lo anterior, este trabajo muestra una propuesta didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la herencia y la reproducción en 4º de secundaria en el ámbito español, mediante una Investigación Basada en Diseño (IBD) (Collins *et al.*, 2004). La propuesta, diseñada y experimentada, parte de las ideas iniciales de los estudiantes sobre determinados problemas para posteriormente facilitar la construcción de *contenidos organizadores* (Porlán *et al.*, 2024) que guarden relación con la vida cotidiana (Sadler, 2004), fortaleciendo así la formación ciudadana del alumnado (Gil y Vilches, 2006).

Ideas y obstáculos de los estudiantes en relación con la herencia y la reproducción

La Genética es un pilar importante de la alfabetización científica debido a su relevancia social (Caballero, 2008; Íñiguez y Puigcerver, 2013; Todd y Romine, 2018), pero requiere que los estudiantes construyan contenidos complejos que no encajan fácilmente con sus ideas alternativas. Esto es especialmente crítico en el nivel de secundaria, donde dichas ideas obstaculizan profundamente el aprendizaje de los mecanismos genéticos (Abril *et al.*, 2004). Además, el uso de un lenguaje altamente especializado crea un entorno que suele resultar intimidante para el alumnado. Estos factores representan un reto para los docentes, que deben equilibrar la precisión científica con la accesibilidad pedagógica (Southard *et al.*, 2016) y con la relevancia para la formación ciudadana (Arifin *et al.*, 2025; Sadler, 2004). Así mismo, la enseñanza de la Genética también afronta dificultades relacionadas con las habilidades propias de la metodología científica y con las actitudes relacionadas con el espíritu científico (Adelana *et al.*, 2024).

El desarrollo de la Genética ha implicado la integración de conocimientos biológicos y matemáticos, lo que ha provocado ideas preconcebidas que dificultan su comprensión. Por ejemplo, muchos estudiantes creen que un solo gen determina un rasgo observable, sin considerar la influencia de múltiples genes o del propio ambiente. También, es frecuente la incorrecta interpretación de los cuadros de Punnett, asumiendo que los porcentajes reflejan resultados individuales y no probabilidades poblacionales (Caballero, 2008; Poczai y Santiago-Blay, 2021). Además, el alumnado suele tener confusión con el significado de términos como *gen*, *alelo*, *carácter*, *mutación*, *cromosoma* y *cromátida*, (Lewis *et al.*, 2000a), fruto de la gran profusión de contenidos abordados de manera mecánica y de la presencia de algunos en el lenguaje cotidiano.

Respecto a la reproducción, hay estudiantes que asumen que animales (en menor medida) y plantas carecen de ella (Banet y Ayuso, 2000; Caballero, 2008). También existe confusión con los niveles de organización de la información genética (Íñiguez y Puigcerver, 2013; Lewis *et al.*, 2000a), lo que lleva, por ejemplo, a creer que *los cromosomas sexuales solo están presentes en los gametos* (Banet y Ayuso, 2000). Otras ideas frecuentes son *que ciertos caracteres provienen exclusivamente de un progenitor* y que el parecido con él se debe a *recibir más cantidad de información genética del mismo*, basándose en una *concepción determinista* de la Biología (Banet y Ayuso, 1995; Kargbo, *et al.*, 1980; Puig y Jiménez, 2015). La confusión también abarca los procesos celulares. Muchos estudiantes *no distinguen entre mitosis y meiosis* (Lewis *et al.*, 2000b; Radford y Bird-Stewart, 1982), *ni entre células somáticas y gametos* (Lewis *et al.*, 2000b). En el caso de las mutaciones, una idea fundamental según Zhao y Schuchardt (2019), es que muchos estudiantes creen que *los cambios somáticos son heredables* (Banet y Ayuso, 1995; Kargbo *et al.*, 1980) y relacionan las mutaciones solo con *transformaciones visibles* (Abril *et al.*, 2004; Ayuso y Banet, 2002). En cuanto a la variabilidad genética, no entienden la aleatoriedad de la meiosis (Wood-Robinson *et al.*, 2000) ni el papel de las mutaciones, que suelen interpretar como *adaptaciones graduales al entorno* (Ayuso y Banet, 2002; Bray *et al.*, 2014; Prevost *et al.*, 2013). Estos hallazgos resaltan la necesidad de estrategias innovadoras para mejorar la comprensión de esta disciplina clave en la alfabetización científica.

Las investigaciones basadas en diseños un marco emergente para la mejora educativa

Las IBD constituyen un enfoque prometedor en la investigación educativa (Collins *et al.*, 2004), con especial repercusión en la Didáctica de las Ciencias (Cobo-Huesca *et al.*, 2021; Guisasola *et al.*, 2021; Martinenco *et al.*, 2025; Salamanca *et al.*, 2024). Su propósito es acercar la teoría educativa y la práctica de aula, promoviendo el diseño y experimentación de intervenciones fundamentadas que puedan ser evaluadas y refinadas a modo de *ciclos de mejora* (Delord *et al.*, 2020; Duit, 2009; Jiménez-Liso *et al.*, 2021). Por tanto, las IBD pretenden ser un *punto epistemológico* que facilita la comunicación entre teorías educativas y prácticas rigurosas en contextos reales (Delord y Porlán, 2024). Las IBD tienen como objetivo mejorar las experiencias de aprendizaje, pero también aportar información relevante para otras prácticas y para enriquecer las teorías que las sustentan (Rinaudo y Donolo, 2010; Shavelson *et al.*, 2003). Estos diseños incluyen elementos como el análisis del contexto de partida, las metas de aprendizaje, metodologías fundamentadas y estrategias de evaluación formativa. Su proceso abarca cuatro fases: diseño, aplicación, análisis y refinamiento, promoviendo una mejora basada en evidencias (Collins *et al.*, 2004; Delord y Porlán, 2024; Porlán y Villarejo-Ramos, 2022). Con frecuencia, las IBD han impulsado la experimentación de *secuencias de enseñanza-aprendizaje investigativas*, conectando los contenidos con problemas relevantes (Porlán *et al.*, 2024). Estas secuencias han permitido a los estudiantes desarrollar habilidades relacionadas con el método científico y una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia (Cobo-Huesa *et al.*, 2021; Méheut y Psillos, 2004; Porlán *et al.*, 2020). Estudios recientes, como el de Guisasola *et al.* (2021), han explorado cómo el diseño de estas secuencias puede responder a las necesidades e ideas de los estudiantes, ayudándoles a construir conocimientos de manera significativa. En nuestro caso, centrado en la herencia y la reproducción en la educación secundaria, esta IBD, y los principios que la fundamentan, supone una experiencia de gran interés para incrementar el conocimiento sobre cómo facilitar un aprendizaje de estas temáticas (Guisasola *et al.*, 2021) alineado con las metas de la alfabetización científica, promoviendo conexiones con problemas relevantes de la vida diaria y desarrollando en el alumnado procedimientos intelectuales y valores claves para abordar de manera fundamentada los desafíos del futuro. Más allá del contexto específico del aula, este tipo de intervenciones pueden tener implicaciones directas en las políticas públicas de educación científica y particularmente en los programas y modelos de formación docente, ya que ofrecen evidencias empíricas que permiten proyectar su escalabilidad, en caso de resultados positivos, a ámbitos más amplios y a diferentes niveles educativos.

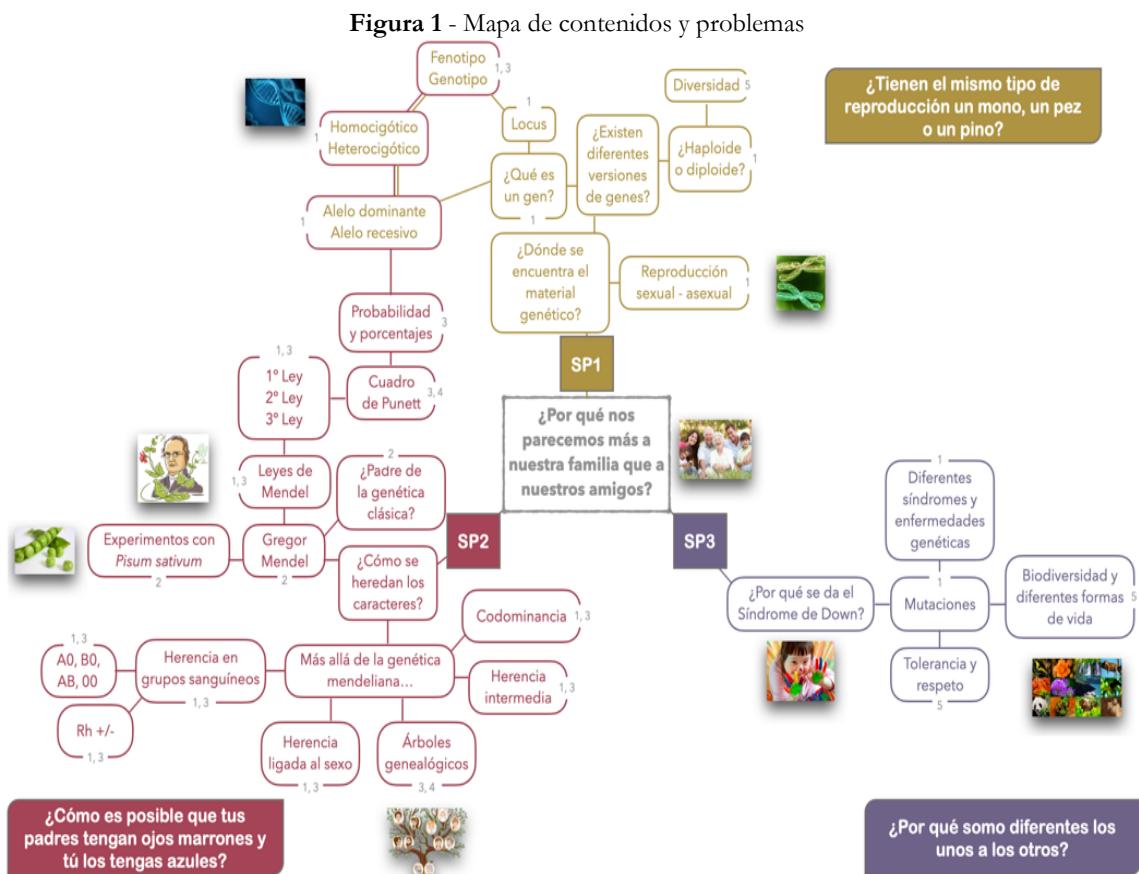
Objetivos de la investigación y muestra del estudio

El objetivo principal de este estudio es analizar el impacto en el aprendizaje de un diseño didáctico socioconstructivista e investigativo para la enseñanza de la herencia y la reproducción en alumnado de secundaria, en forma de *Unidad Didáctica Investigativa* (UDI) de 12 horas, siguiendo las características de las IBD. Los objetivos específicos son: (1) Identificar las ideas espontáneas y los obstáculos iniciales del alumnado y su progresión durante la UDI; (2) Analizar la influencia de las secuencias de actividades, especialmente de las *actividades de contraste*, en la superación de los obstáculos; (3) Aportar mejoras para el refinamiento de la UDI en función de los resultados obtenidos; (4) Aportar reflexiones sobre esta IBD en relación con la teoría socioconstructivista e investigativa. La investigación se realizó en un colegio público de Sevilla (España) con 29 estudiantes (16 chicas y 13 chicos) de una clase de 4º de secundaria de la rama de ciencias, con una edad media de 15 años. El estudio se realizó durante el curso 2022-2023, en la asignatura de Biología y Geología. La IBD se aplicó en el marco de las prácticas docentes de una de las autoras.

Diseño de la Unidad Didáctica Investigativa

Metas de aprendizaje en forma de mapa de contenidos y problemas

En el diseño de la UDI se tuvieron en cuenta las recomendaciones establecidas en la legislación española sobre las enseñanzas mínimas en la secundaria obligatoria y las relativas a un enfoque basado en la alfabetización científica, relacionando los contenidos con problemas de la realidad. Para ello, se elaboró un *mapa de contenidos y problemas* (Campos, 2005; De Alba y Porlán, 2020; Rodríguez-Palmero y Moreira, 2018) (Figura 1) que orientara el aprendizaje hacia la construcción de los contenidos más organizadores, útiles y significativos para la formación ciudadana. El mapa incorpora distintos tipos de contenidos (conceptuales, procedimentales, psicomotrices y actitudinales) para abordar el aprendizaje desde un enfoque integral y se organiza en torno a esta pregunta/problema que da sentido a toda la unidad: *¿Por qué nos parecemos más a nuestra familia que a nuestros amigos?* Este interrogante central pretende provocar la implicación del alumnado, al conectar contenidos escolares y vida cotidiana. En otro nivel de concreción, el mapa presenta 3 subproblemas que permiten, por un lado, delimitar los contenidos que están más implicados en cada uno y, por otro, dar sentido a las 3 secuencias de actividades que se diseñaron para abordarlos. Los subproblemas son: (1) *¿Tienen el mismo tipo de reproducción un mono, un pez y un pino?*, (2) *¿Cómo es posible que tus padres tengan ojos marrones y tú los tengas azules?* y (3) *¿Por qué somos diferentes los unos de los otros?*



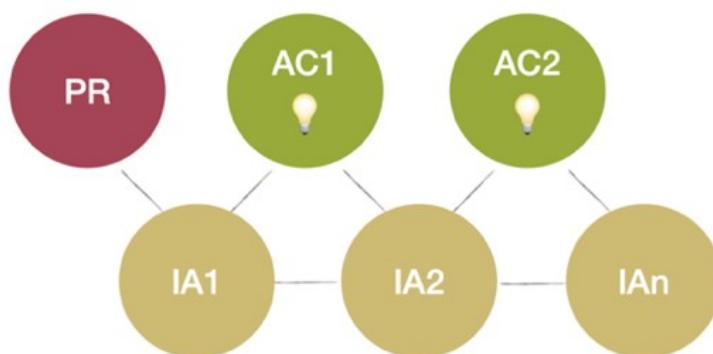
Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: SP1, SP2 y SP3: Subproblemas. Números en gris: Tipos de contenidos, (1) conceptual, (2) datos, (3) procedimiento intelectual, (4) psicomotriz y (5) actitudinal.

Modelo metodológico y secuencias de actividades

Se diseñó un modelo metodológico coherente con los fundamentos ya mencionados (Delord, 2020) (Figura 2). La metodología fue, por tanto, activa, situando al estudiante en el centro y al profesorado como orientador del proceso (Bermúdez, 2022; Coronel y Curotto, 2008). El modelo pretendía que las *actividades de contraste* fueran el motor de la evolución de las ideas del alumnado.

Figura 2 - Modelo metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: PR, problema; IA, ideas alumnos; AC: actividades de contraste.

En la primera fase del modelo se presenta el problema general y el subproblema a investigar, resaltando su importancia e interés (PR). En la segunda, el alumnado expresa sus ideas e hipótesis sobre el mismo, tanto las que tiene “a priori” como las que crea “in situ” al responder a un cuestionario inicial relacionado con los subproblemas de la UDI y basado en los aportes de la literatura ya mencionados en relación con las ideas de los alumnos sobre esta temática, debatiendo en equipos sus diferentes respuestas (IA). En una tercera fase, a través de las actividades de contraste (AC) se confirman, amplían o cuestionan los puntos de vista del alumnado, promoviendo esquemas más complejos (IA2...IAn) (Coronel y Curotto, 2008). Esta dinámica fomenta la reflexión y el debate basado en argumentos, en el que los estudiantes confrontan sus opiniones con las nuevas informaciones que aportan las AC (contraejemplos, datos, argumentos, nuevas ideas...). En el diseño de las AC se ha tenido en cuenta la *Zona de Desarrollo Próximo* (ZDP) (Vygotsky, 2009) del alumnado. Las secuencias de actividades que concretan este modelo incluyen debates, observación orientada de vídeos, experimentos y resolución de problemas genéticos, todas ellas orientadas a fomentar el aprendizaje por investigación. En las Tablas 1, 2 y 3, se presentan las secuencias de actividades de los tres subproblemas. En la primera columna se muestra el día en el que se desarrollan las actividades. En las dos siguientes, la fase del modelo metodológico a la que pertenece cada actividad y su número de orden. Tras ello, aparece el nombre con el que se presenta al alumnado y el tiempo estimado de duración.

Tabla 1 - Secuencia de actividades del subproblema 1

| Subproblema 1. ¿Tienen el mismo tipo de reproducción un mono, un pez y un pino? | | | | |
|--|----------------------------------|----|--|-----|
| Día | Fase | Nº | Descripción de las actividades | T |
| 1 | I/PR | 1 | Presentación del Problema General y del subproblema 1 | 20' |
| | IA ₁ | 2 | Debate inicial sobre las respuestas del cuestionario centradas en el subproblema 1 | 20' |
| | AC ₁ | 3 | Ánalisis de una imagen con distintos seres vivos. Debate sobre su tipo de reproducción | 10' |
| 2 | IA ₂ /AC ₂ | 4 | Aclaración colectiva de conceptos claves en genética vinculados a la reproducción | 30' |
| | IA ₃ /AC ₃ | 5 | ¿Locus o alelo? ¿Pertenecen al gen? ¿Dónde se encuentran? | 20' |
| | IA _F | 6 | Escribe una historia explicando la reproducción de uno de los seres vivos analizados | X |

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda: AC, actividad de contraste; I, introducción; IA, ideas de los alumnos; PR, subproblema; T, tiempo; X, Para casa.

Tabla 2 - Secuencia de actividades del subproblema 2

| Subproblema 2. ¿Cómo es posible que tus padres tengan ojos marrones y tú los tengas azules? | | | | |
|--|--------------------|----|---|----------|
| Día | Fase | Nº | Descripción de las actividades | T |
| 3 | PR/IA ₁ | 1 | Presentación del subproblema 2. Debate sobre las respuestas del cuestionario relacionadas con él | 20' |
| | AC ₁ | 2 | Observación guiada de vídeos sobre la historia de Mendel, discusión crítica | 7' |
| | AC ₂ | 3 | Experimentos con <i>Pisum sativum</i> . Tabla de color, forma del guisante, la vaina, las flores | 8' |
| | IA ₂ | 4 | Cruce entre las diferentes variables de guisante. ¿Cómo será su descendencia? | 15' |
| 4 | AC ₃ | 5 | Problema básico de Mendel. Explicación del cuadro de Punnet y porcentajes | 20' |
| | IA ₃ | 6 | Ahora es vuestro turno. ¿Sois capaces de hacer problemas de la primera ley de Mendel? | 15' |
| | AC ₄ | 7 | Segunda ley de Mendel, contrastando con las ideas de los estudiantes | 15' |
| 5 | IA ₄ | 8 | ¿Cómo podemos saber el genotipo de un parental? | 10' |
| | AC ₅ | 9 | ¿Cómo podemos saber el genotipo de un parental? Realizando un retrocruzamiento de prueba y contraste con las ideas de los estudiantes. Problemas de Mendel de la primera y segunda ley. | 10'X |
| | IA ₅ | 11 | ¿Qué ocurre cuando existe más de un carácter heredable? | 15' |
| | AC ₆ | 12 | ¿Qué ocurre cuando existe más de un carácter heredable? Vamos a comprobar vuestras ideas | 15' |
| 6 | IA ₆ | 13 | Pero..., ¿se pueden explicar todos los casos de herencia con las leyes de Mendel? | 15' |
| | AC ₇ | 14 | Herencia no Mendeliana Tareas de herencia intermedia y codominancia | 15' X |

Continua...

Continuação...

| | | | | |
|----|------------------------------------|----|--|------|
| | IA ₇ | 16 | Kahoot de todo lo trabajado | 20' |
| 7 | IA ₈ /AC ₈ | 17 | <i>¿Qué significa que yo pertenezco al grupo sanguíneo A+?</i> | 30' |
| | AC ₉ | 18 | <i>¿Pueden interaccionar los alelos unos con otros? ¿Existen alelos letales?</i> | 20' |
| 8 | IA ₉ /AC ₁₀ | 19 | Ánalisis de las actividades propuestas para casa | 50' |
| 9 | IA ₁₀ | 20 | <i>¿Cuándo se da la diferencia entre sexos? ¿Es lo mismo sexo que género?</i> | 15' |
| | AC ₁₁ | 21 | Herencia ligada al sexo, contrastando con las ideas de los estudiantes | 35' |
| 10 | IA ₁₁ /AC ₁₂ | 22 | Elaboración de árboles genealógicos | 25'X |
| | IA _F | 23 | Reelaboración de las ideas espontáneas | X |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3 - Secuencia de actividades del subproblema 3

| Subproblema 3. <i>¿Por qué somos diferentes los unos de los otros?</i> | | | | |
|--|----------------------------------|----|---|------|
| Día | Fase | Nº | Descripción de las actividades | T |
| 10 | PR/IA ₁ | 1 | Presentación del subproblema 3. Debate con los estudiantes sobre por qué se dan diferentes síndromes | 10' |
| | AC ₁ | 2 | Análisis colectivo de fotografías comparativas entre diferentes cariotipos | 10' |
| | IA ₂ /AC ₂ | 3 | Búsqueda de algún síndrome y añadir sus características y el por qué se da. Explicación de la actividad que tienen que hacer en casa. | X 5' |
| 11 | IA ₃ /AC ₃ | 4 | <i>¿Son todas las mutaciones malas?</i> Construcción de tabla con tipos de mutaciones | 15' |
| | IA ₄ /AC ₄ | 5 | Debate acerca de los diferentes tipos de síndromes, contrastando con las ideas de los estudiantes | 35' |
| 12 | IA ₅ /AC ₅ | 6 | Terminar de analizar todas las actividades propuestas | 30' |
| | IA _F | 7 | Kahoot final para comprobar los contenidos construidos a lo largo de la UDI | 20' |

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de evaluación

Para la evaluación se adoptó un modelo de *retroalimentación formativa* (Picco y Cordero, 2021; Sanmartí, 2007) basado en el ajuste de las actividades a la evolución de las ideas del alumnado y en la toma de conciencia de los estudiantes de sus ideas y del cambio de las mismas a través de las actividades IA y AC. Para ello se utilizaron varios instrumentos. En primer lugar, el cuestionario inicial, ya mencionado, para identificar y analizar las ideas espontáneas y los obstáculos de los estudiantes en relación con las metas de aprendizaje y con los subproblemas, lo que permitió ajustar los contenidos y las actividades a los niveles del alumnado e iniciar cada secuencia de cada subproblema con un debate en torno a los diferentes puntos de vista de los estudiantes, reflejados en sus respuestas. Al final, se volvió a pasar el cuestionario para, comparando las respuestas finales e iniciales, poder conocer las *progresiones de aprendizaje* (Ardiansyah y Ramli, 2020; Duschl *et al.*, 2011) y el grado de superación de los obstáculos y de consecución de las metas previstas. El cuestionario, que se presenta más adelante, fue el instrumento clave para evidenciar el impacto de la UDI en la evolución del aprendizaje. Durante el desarrollo de la UDI, se evaluaron también el *cuaderno de trabajo* y las *fichas de actividades* aportando retroalimentación a cada estudiante o equipo según el tipo de material analizado. En cuanto a la actitud y participación del alumnado y al desarrollo de las sesiones, el *diario de la docente* desempeñó un papel esencial, ya que permitió diagnosticar problemas, formular y evaluar hipótesis de trabajo y rediseñar actividades, consolidando el rol de la docente como una *investigadora en el aula* (Martín y Porlán, 2024).

Experimentación de la Unidad Didáctica Investigativa

Durante la experimentación, las sesiones se desarrollaron en un marco cooperativo y reflexivo, en el que se combinaron tareas de análisis, dinámicas de formulación de hipótesis y momentos de elaboración personal. El seguimiento con el diario permitió recoger evidencias sobre

el desarrollo de la UDI y el comportamiento del alumnado. Este registro reflejó una alta implicación del grupo durante las AC, especialmente en las que incorporaban elementos visuales, resolución de problemas o tareas experimentales. También, hubo gran interés por las propuestas más abiertas, como la elaboración de textos y la reflexión personal. El diario también permitió detectar y analizar dificultades como la gestión del tiempo o la confusión de los estudiantes con ciertos términos, que fueron abordadas con ajustes en la planificación.

Instrumento y técnica de la investigación

El cuestionario

En las IBD, los resultados se centran en analizar el aprendizaje del alumnado. En nuestro caso, los datos se han obtenido a través del cuestionario mencionado, diseñado para diagnosticar las ideas iniciales y finales de los estudiantes sobre la herencia y la reproducción (Tabla 4). El cuestionario incluye preguntas abiertas y cerradas, relacionadas con las metas de aprendizaje, con el problema general y con los 3 subproblemas específicos. Los criterios seguidos en su diseño fueron: (1) *Estructura clara y accesible*; (2) *Carácter anónimo y no calificable*, evitando las respuestas memorísticas (para la identificación y comparación entre los cuestionarios iniciales y finales se estableció un código: día y mes de nacimiento); (3) *Adaptación al nivel del alumnado*, ya que las preguntas debían ser comprensibles, evitando el lenguaje académico; (4) *Estructura temática progresiva*, abordando desde los aspectos más sencillos a los más complejos.

Tabla 4 - Cuestionario inicial y final sobre reproducción y herencia

| | | | Código: |
|---|------------------------------------|------------------------------------|---------|
| ¿Por qué nos parecemos más a nuestra familia que a nuestros amigos? | | | |
| <i>¡Hola! Soy María y pronto trabajaremos uno de los temas más fascinantes de la Biología: las leyes de la herencia. Para adaptar mejor las sesiones, he preparado este breve cuestionario anónimo y no evaluable, que me ayudará a conocer vuestro conocimiento previo. ¡Vamos allá!</i> | | | |
| <i>Los seres vivos tienen diferentes formas de reproducirse, pero ¿piensas que un mono, un pez y un pino tienen el mismo tipo de reproducción? Tanto si piensas que sí como que no, indica qué tipo de reproducción tiene cada uno y por qué.</i> | | | |
| Mono | Pez | Pino | |
| Tipo de reproducción: ¿Por qué? | Tipo de reproducción: ¿Por qué? | Tipo de reproducción: ¿Por qué? | |
| <i>¿Cómo se heredan los caracteres de padres a hijos? Argúmentalos:</i> | | | |
| <i>¿Piensas que un niño es la suma de las informaciones genéticas del padre y de la madre a partes iguales? Sí: ¿Por qué? No: ¿Por qué?</i> | | | |
| <i>a) En el mundo, existen más mujeres que hombres, pero ¿existe la misma probabilidad de tener un hijo que de tener una hija? Sí: ¿Por qué? No: ¿Por qué?</i> | | | |
| <i>b) Si tu prima se encuentra embarazada y ya tiene 3 hijas, ¿cuál es la probabilidad de tener un hijo varón? Explícalo con tus palabras</i> | | | |
| <i>¿Es lo mismo sexo biológico que género? ¿Por qué?</i> | | | |
| <i>Una mujer tiene el color de ojos oscuro y un hombre los tiene claros, si tienen un hijo ¿cómo será su color de ojos? a) ¿Claros?; b) ¿Oscuros? ¿Por qué?</i> | | | |
| <i>Según tengo entendido ya has visto en clase algunas ideas sobre Genética, pero, dime con tus palabras qué es para ti la información genética:</i> | | | |
| <i>Pon algunos ejemplos de ideas que hayas comprendido sobre la Genética y explícalas.</i> | | | |
| <i>Representa mediante un dibujo cómo es para ti un gen y dónde está.</i> | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Las escaleras de aprendizaje

El análisis comparativo de las respuestas a los cuestionarios iniciales y finales se centró en identificar la progresión de las ideas del alumnado sobre herencia y reproducción a través de *escaleras de aprendizaje* (Rivero y Porlán, 2017). La técnica empleada siguió los siguientes pasos: (1) *Listado de*

respuestas similares: Para cada pregunta, se numeraron los cuestionarios y se elaboró un listado con los tipos de respuestas similares y con el número de los cuestionarios en las que aparecían. (2) *Agrupación en patrones:* En una segunda vuelta, en cada pregunta, las respuestas con un sentido similar (más allá de su literalidad) fueron reagrupadas en patrones, de acuerdo a su proximidad con la respuesta científica. Esto permitió ordenarlos desde los más simples a los más complejos, estableciendo *niveles de progresión*. Finalmente se construyeron escaleras de aprendizaje (una por pregunta), donde el primer escalón representa las respuestas menos desarrolladas y los escalones superiores las más completas y avanzadas. Se añadieron los porcentajes iniciales (en rojo) y finales (en azul) de los estudiantes situados en cada nivel. (3) *Identificación y descripción de obstáculos:* En cada escalera se analizaron los niveles y porcentajes, infiriendo entre qué saltos se encontraban los obstáculos más importantes, que fueron enunciados para guiar el diseño de las secuencias de actividades, especialmente las AC. Todo este proceso, de carácter cualitativo y sin categorías previas, fue realizado por dos de los autores en dos fases: en la primera, uno de ellos lo realizó de manera completa, y en la segunda el otro revisó todo el proceso, anotando las dudas y discrepancias que fueron resueltas a posteriori en su totalidad. (4) *Mejoras basadas en evidencias:* Por un lado, y como se ha dicho, las escaleras del cuestionario inicial permitieron ajustar el diseño inicial a las ideas y a los obstáculos de partida de los estudiantes (Rivero y Porlán, 2017). Y, por otro, la comparación entre las escaleras finales e iniciales permitió establecer las *progresiones de aprendizaje* de los estudiantes para cada pregunta, identificar los obstáculos superados o no por la mayoría, poniendo en evidencia así la eficacia de las AC y de la UDI en general, y decidir las mejoras para un refinamiento basado en evidencias.

Consideraciones éticas

Esta investigación respetó los principios éticos fundamentales para la protección de las personas en procesos de investigación. Se solicitó el consentimiento informado de los estudiantes y sus familias, y se garantizó el anonimato de los participantes. Los datos fueron utilizados exclusivamente con fines educativos e investigativos por el equipo docente e investigador, con el debido permiso institucional del centro educativo. No se identifican riesgos para los involucrados.

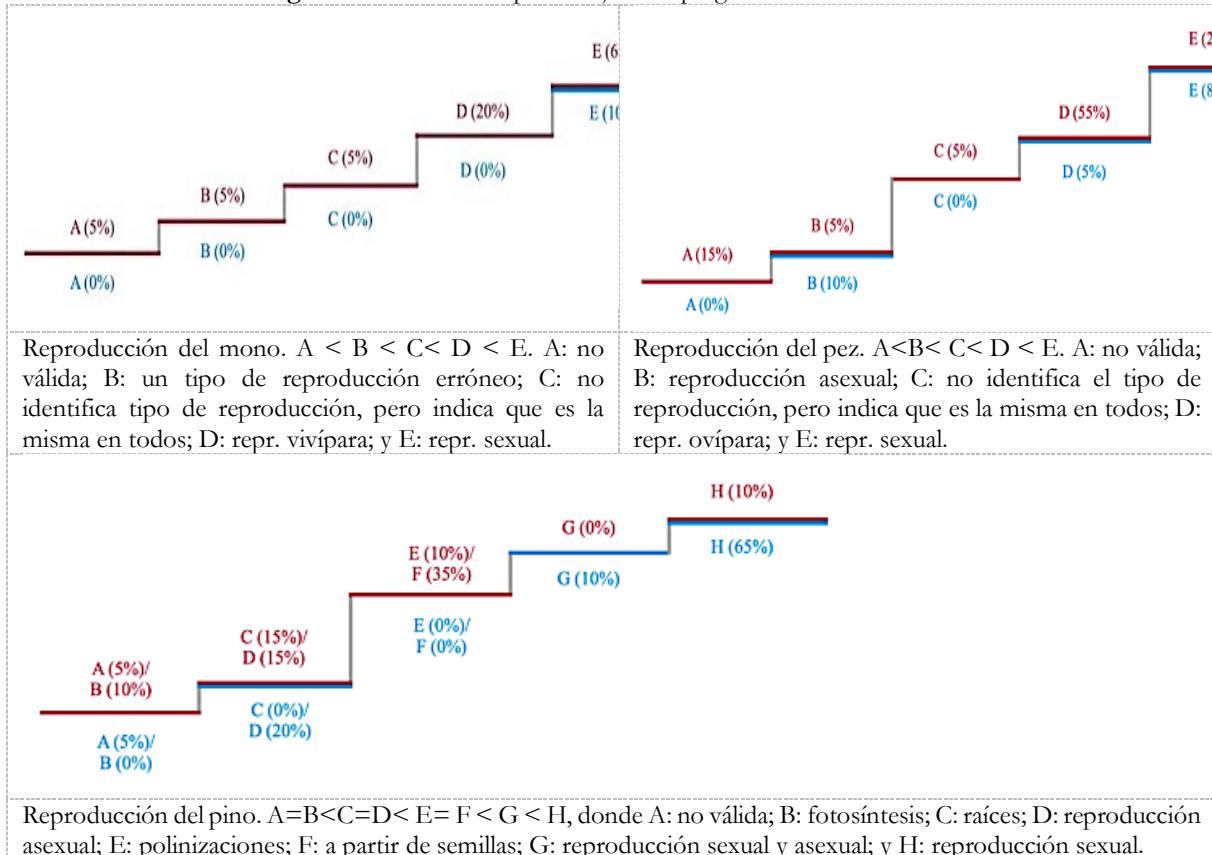
Descripción y análisis de los resultados

Se presentan las escaleras de aprendizaje obtenidas en cada pregunta del cuestionario, reflejando los niveles de respuesta del alumnado al empezar y finalizar la UDI. La comparación entre los porcentajes de estudiantes en cada peldaño permite observar sus progresiones. Los niveles se han identificado con la letra A (el más bajo) en adelante. En algunos casos, dos patrones diferentes pueden presentar un grado de complejidad similar, apareciendo en el mismo peldaño. Las respuestas no válidas se refieren a las que estaban en blanco, o abordaban un tema distinto al propuesto o eran ininteligibles. Por último, la altura de los peldaños representa la magnitud del obstáculo que debe superar el alumnado para alcanzar el siguiente nivel.

Pregunta 1. Los seres vivos tienen diferentes formas de reproducirse, pero ¿piensas que un mono, un pez y un pino tienen el mismo tipo de reproducción?

El objetivo era determinar si los alumnos comprenden que diferentes seres vivos, aunque estén alejados filogenéticamente, pueden compartir el tipo de reproducción sexual. Inicialmente, los estudiantes presentaron desde respuestas no válidas hasta otras en las que identificaban diferentes tipos de reproducción (Figura 3). En el caso del mono, el obstáculo más desafiante, fue

el de pasar del nivel C al D, es decir, “*de no identificar ningún tipo de reproducción, a plantear que tiene reproducción vivípara*”. Tras la UDI, el 100% del alumnado identificó que tiene reproducción sexual, alcanzando el nivel más alto de la escalera (E). En esta evolución resultó relevante la actividad en la que se analizó una imagen con distintos seres vivos y se debatió sobre su tipo de reproducción (Subproblema 1, AC₁). Esta tarea ayudó al alumnado a reconocer patrones comunes en organismos con apariencias muy diferentes, como un mono, un pez o un pino, facilitando así la generalización del concepto de reproducción sexual. En cuanto al pez, los resultados iniciales mostraron que solo el 20% de los estudiantes reconocía la reproducción sexual (E), mientras que un 55% la asociaba con la oviparidad (D), sin entender que *este tipo de reproducción también pertenece al grupo de la sexual*. Además, un 5% clasificaba al pez como un organismo con reproducción asexual. Tras la actividad ya comentada, se observó una mejora significativa, con un 85% de los estudiantes alcanzando el nivel más alto (E). Sin embargo, un 10% seguía mostrando confusión al considerar que el pez tiene reproducción asexual (B), lo que sugiere la necesidad de *reforzar las diferencias entre los conceptos de reproducción sexual y asexual*. La reproducción del pino presentó mayores dificultades. En el cuestionario inicial, solo un 10% de los estudiantes identificó correctamente que el pino tiene reproducción sexual (H), mientras que un 35% planteó que la reproducción se realiza a partir de semillas (F) y un 10% a través de la polinización (E), sin identificar la necesidad de haya dos organismos para que estos procesos puedan llevarse a cabo. Además, un 15% planteó que el pino se reproduce asexualmente (D) y otro 15% que lo hace a través de las raíces (C). Después de la UDI, un 65% alcanzó el nivel más alto, aunque el 20% continuó considerando que *el pino se reproduce asexualmente*. Este obstáculo guarda relación con la *visión antropocéntrica*, que sitúa al ser humano como el referente de las funciones vitales (Banet y Ayuso, 2000; Lewis *et al.*, 2000a), y a la distancia filogenética percibida entre los pinos y los humanos. Según estos resultados, se confirma la eficacia de las AC empleadas para provocar conflicto cognitivo y facilitar la evolución conceptual. No obstante, se sugiere incorporar tareas complementarias que refuerzen la generalización de los aprendizajes a contextos menos antropocéntricos. *El análisis guiado de esquemas de reproducción en plantas y animales no mamíferos o la comparación estructurada de organismos filogenéticamente distantes*, podrían favorecer una comprensión más flexible y transferible del concepto de reproducción sexual.

Figura 3 - Escalera de aprendizaje de la pregunta 1 del cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

Pregunta 2. ¿Cómo se heredan los caracteres de padres a hijos?

Esta pregunta tenía como objetivo conocer las ideas sobre transmisión genética. A diferencia de otras preguntas, las respuestas presentaron gran diversidad, lo que dificultó su organización en niveles y, por tanto, la elaboración de una escalera, optándose por una organización en tabla de frecuencias (Tabla 5).

Tabla 5 - Frecuencia de las respuestas a la pregunta 2 del cuestionario inicial y final

| Respuesta | Porcentaje de respuestas (%) | |
|--|------------------------------|--------------------|
| | Cuestionario inicial | Cuestionario final |
| Información genética y cromosomas que los padres dan a los hijos | 45 | 60 |
| Genes | 20 | 25 |
| Cromosomas homólogos (materno + paterno) | 5 | 15 |
| Se produce recombinación | 15 | 15 |
| A través del ADN | 15 | 20 |
| Gracias a los gametos: meiosis | 30 | 35 |
| Gracias a la reproducción sexual | 5 | 5 |
| No todos los caracteres se heredan | 5 | 0 |
| Todos los caracteres que tenga el padre, los tendrá el hijo | 5 | 0 |
| Por las relaciones sexuales | 5 | 0 |
| Los cromosomas sexuales (XX, XY) tienen la información de los caracteres | 10 | 0 |
| Replicación | 5 | 0 |

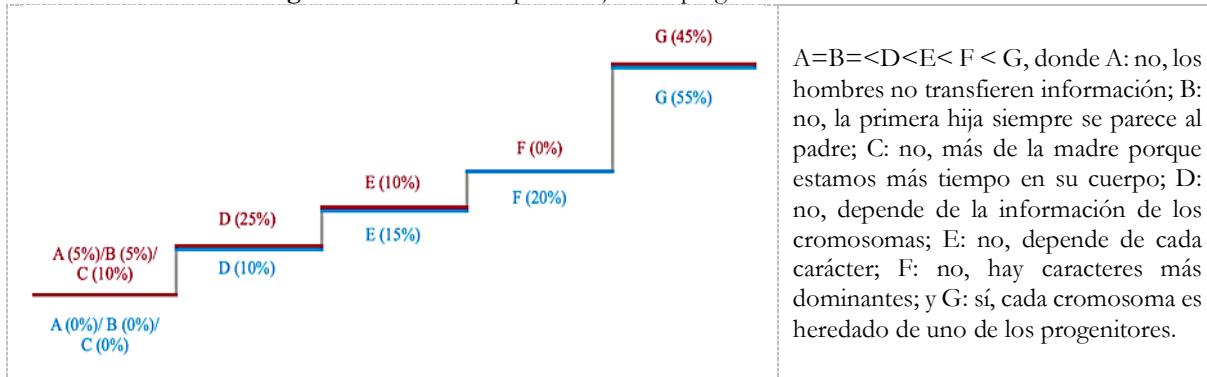
Fuente: Elaboración propia.

En el cuestionario inicial, un 45% del alumnado aludió a la información genética y a los cromosomas como base de la herencia, mientras que un 30% incluyó la meiosis y un 15% la recombinación. Sin embargo, también aparecían ideas menos precisas, como la creencia de que *los caracteres se heredan exclusivamente por los cromosomas sexuales* (10%) o *mediante las relaciones sexuales* (5%). Al final, los resultados muestran un avance significativo. El 60% de los estudiantes identificó la relación entre la herencia y la información genética aportada por los progenitores, mientras que el 35% mencionó la meiosis y se mantuvo un 15% en la recombinación. Las respuestas simplistas, como las vinculadas a las relaciones sexuales o a la transmisión exclusiva a través de cromosomas, desaparecieron por completo (Tabla 5). Este cambio evidencia una mejora notable, aunque persisten diferencias en el nivel de precisión de las explicaciones. En este sentido, las AC relacionadas con la historia de Mendel, la observación de variables en *Pisum sativum* y la resolución de problemas mediante el cuadro de Punnett (Subproblema 2, AC₁, AC₂ y AC₃) fueron fundamentales para favorecer la revisión crítica de las ideas del alumnado. Para reforzar el nivel de precisión, sería deseable incorporar actividades que conecten la meiosis y la recombinación con la transmisión de características genéticas. Por ejemplo, *un juego en el que los estudiantes representen alelos y formen parejas genéticas*, escenificando la variabilidad de la descendencia en función de las combinaciones posibles.

Pregunta 3. ¿Piensas que un niño es la suma de las informaciones genéticas del padre y de la madre a partes iguales?

Esta pregunta pretendía informar sobre la comprensión del alumnado acerca de la herencia genética (Figura 4). En el cuestionario inicial, un 45% de los estudiantes planteó que la información genética se hereda en igual proporción de ambos progenitores (G). Sin embargo, un 25% creía que *un progenitor puede aportar más información que el otro debido a diferencias en la información de los cromosomas* (D), y un 10% atribuía una *mayor contribución a la madre debido al tiempo de gestación* (C). Tras la UDI, se observó un cierto progreso. El 55% de los estudiantes alcanzó el nivel más alto (G), comprendiendo que la herencia se distribuye equitativamente entre ambos progenitores. Sin embargo, un 45% continuó presentando ideas incorrectas. Por ejemplo, un 20% señaló que *algunos caracteres dominantes pueden provenir más de un progenitor que de otro* (F), y un 15% afirmó que *ciertos caracteres tienen más probabilidad de heredarse de uno de los progenitores* (E). Estas respuestas reflejan una comprensión parcial del fenómeno, y sobre todo una confusión entre los conceptos de genotipo, fenotipo y dominancia, que requiere ser abordada con más profundidad. Las AC relacionadas con esta pregunta incluyeron el análisis de la transmisión de alelos en casos mendelianos y no mendelianos (Subproblema 2, AC₄ a AC₇), junto con la resolución de problemas sobre la primera y segunda ley de Mendel. Estas tareas ayudaron a comprender que los individuos heredan un 50 % del material genético de cada progenitor, aunque no todos los caracteres se expresen con la misma intensidad. Para reforzar estos aprendizajes y aclarar las confusiones, sería útil incorporar actividades para observar la relación entre genotipo y fenotipo, como la *elaboración de perfiles genéticos de personajes a partir de la información heredada de sus padres*, justificando qué rasgos se expresan y por qué.

Figura 4 - Escalera de aprendizaje de la pregunta 3 del cuestionario

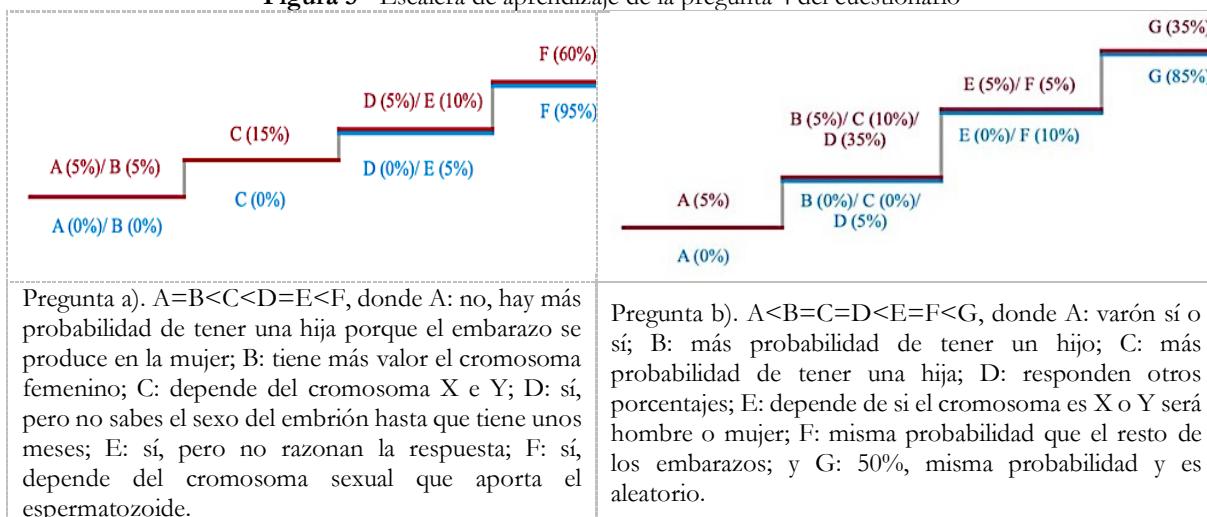


Fuente: Elaboración propia.

Pregunta 4. a) En el mundo, existen más mujeres que hombres, pero ¿existe la misma probabilidad de tener un hijo que de tener una hija? b) Si tu prima se encuentra embarazada y ya tiene 3 hijas, ¿cuál es la probabilidad de tener un hijo varón?

Esta pregunta se planteó en dos partes con el objetivo de indagar la comprensión sobre la probabilidad genética aplicada a la determinación del sexo (Figura 5). En la primera parte (4a), el obstáculo fue no reconocer la probabilidad del 50% en cada embarazo. Inicialmente, un 60% de los estudiantes respondió que la probabilidad de tener hijo o hija es igual y depende del cromosoma aportado por el gameto masculino (F). Sin embargo, un 10% creía que hay mayor probabilidad de tener hijas por ser mujeres las que se embarazan (A) o porque el cromosoma femenino tiene más valor (B). Tras la UDI, el 95% alcanzó el nivel más alto, y solo un 5% no fue capaz de argumentar la igualdad de probabilidades. Esta mejora puede atribuirse a las AC que abordaron el papel de los cromosomas sexuales y la formación de gametos y el uso del cuadro de Punnett adaptado al sexo biológico (Subproblema 2, AC₃, AC₅ y AC₁₀). En la segunda parte (4b), sobre la probabilidad de tener un hijo varón tras tres hijas, un 35% respondió al principio que es siempre la misma y un 50% ofreció respuestas basadas en cálculos erróneos. Al final, el 85% alcanzó el nivel más alto, reconociendo que la probabilidad no cambia por embarazos previos. Los resultados evidencian una mejora notable y sugieren la eficacia de las AC₃ y AC₁₀ del subproblema 2.

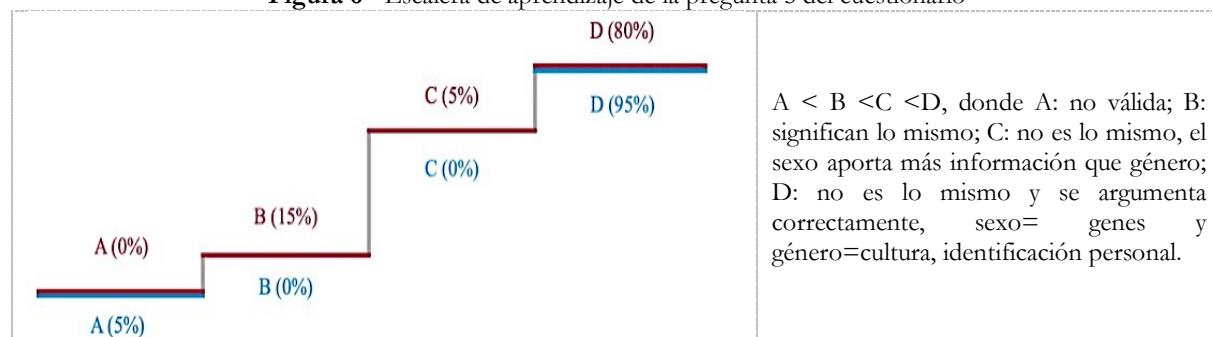
Figura 5 - Escalera de aprendizaje de la pregunta 4 del cuestionario



Fuente: Elaboración propia.

Pregunta 5. ¿Es lo mismo sexo biológico que género? ¿Por qué?

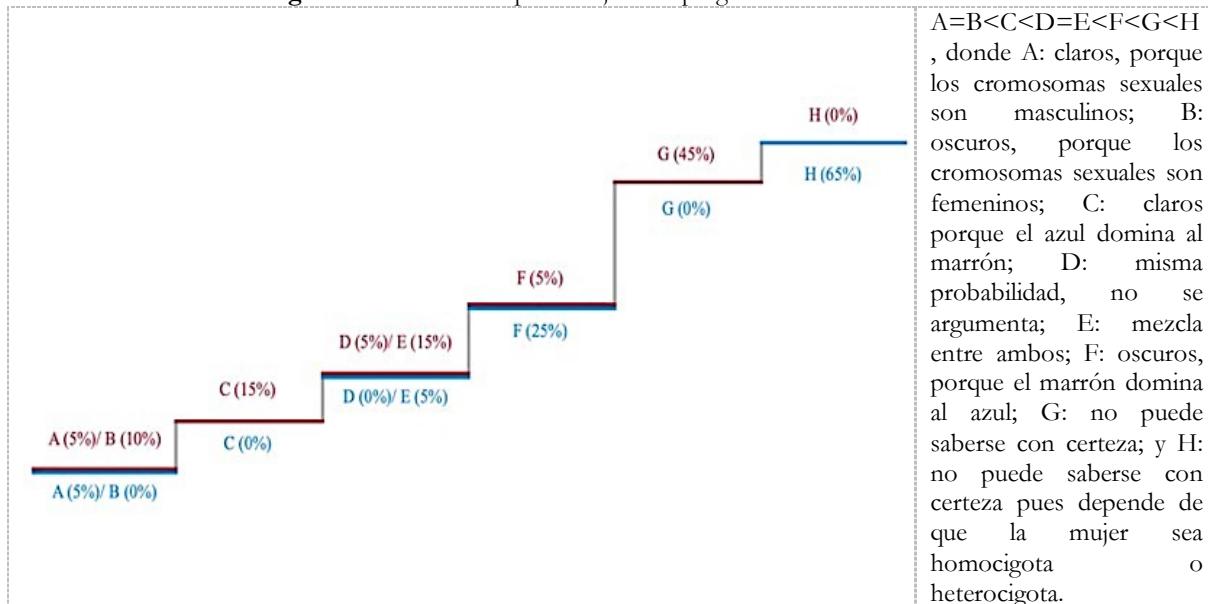
Esta pregunta pretendía conocer las ideas del alumnado sobre sexo biológico y género (Figura 6). En el cuestionario inicial, un 80% alcanzó el nivel más alto (D), respondiendo que no son lo mismo y argumentándolo adecuadamente, diferenciando el sexo como algo biológico (genes, cromosomas) y el género como una construcción social. Un 15% de los estudiantes respondió que eran equivalentes (B) y un 5% que el sexo ofrece más detalles que el género sin una argumentación adecuada (C). Al final, el porcentaje del nivel más alto fue del 95% y un 5% ofreció respuestas no válidas (A), lo que indica un progreso claro. La mejora puede vincularse con la AC₁₁ del subproblema 2, que abordó la diferencia entre herencia biológica e identidad de género, facilitando la reflexión crítica y vinculando los contenidos con la realidad.

Figura 6 - Escalera de aprendizaje de la pregunta 5 del cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

Pregunta 6. Una mujer tiene el color de ojos oscuro y un hombre los tiene claros, si tienen un hijo ¿cómo será su color de ojos?

Esta pregunta buscaba conocer las ideas del alumnado en relación con los patrones de herencia genética, específicamente con la determinación del color de ojos. Inicialmente, un 45% respondió que *no puede saberse con certeza el color de ojos de un descendiente* (G), pero sin argumentar. Un 15% ofreció respuestas incorrectas como que los ojos serían claros porque *el azul domina al marrón* (C) y un 10% que el color de ojos sería oscuro porque *la madre interviene más en la herencia* (B). Estas ideas reflejan confusiones sobre la dominancia y la genética mendeliana. Al final, se observó un avance notable. Un 65% alcanzó el nivel más alto (H), reconociendo que no puede saberse con certeza el color de ojos sin conocer el genotipo de ambos progenitores, y argumentando cómo la dominancia o recesividad de los alelos puede influir en el fenotipo. Sin embargo, un 25% sostuvo que el color de ojos sería oscuro porque *el marrón domina al azul* (F). Los resultados reflejan una progresión significativa, especialmente en la incorporación de conceptos relacionados con el genotipo y la dominancia. Las AC más significativas se desarrollaron en el subproblema 2, especialmente las vinculadas al cuadro de Punnett (AC₃), a la presentación de casos con rasgos múltiples (AC₆) y a la introducción a la herencia no mendeliana (AC₇), que permitieron aplicar modelos genéticos a casos concretos, incluyendo rasgos de la vida cotidiana como el color de ojos. La persistencia de algunas respuestas incorrectas en niveles intermedios sugiere la necesidad de reforzar las tareas relacionadas con la herencia mendeliana, por ejemplo, con *simulaciones interactivas* o *análisis de casos concretos*.

Figura 7 - Escalera de aprendizaje de la pregunta 6 del cuestionario

Fuente: Elaboración propia.

Pregunta 7. Según tengo entendido ya has visto en clase algunas ideas sobre Genética, pero, dime con tus palabras qué es para ti la información genética. Pon algunos ejemplos de ideas que hayas comprendido sobre la Genética y explícalas.

Esta pregunta tenía como objetivo conocer las ideas relacionadas con la información genética y su localización en los organismos. En este caso, las respuestas tampoco pudieron agruparse de manera jerárquica clara, por lo que se utilizó la tabla de frecuencias (Tabla 6). En el cuestionario inicial, el 75% del alumnado identificó la información genética como *el conjunto de características o rasgos que tiene una persona*. Sin embargo, esta respuesta carece de detalles específicos sobre su base molecular. Un 45% mencionó que *la información genética se encuentra en el ADN* y otro 45% señaló que *se adquiere gracias a los progenitores*, pero sin profundizar en el proceso de la herencia o en su relación con los genes. Solo un 25% incluyó la *ubicación de los genes dentro del ADN*, y un porcentaje menor (5%) hizo referencia a conceptos como la modificación de genes mediante ingeniería genética.

Tabla 6 - Respuestas de los alumnos a la pregunta 7 del cuestionario inicial y final

| Respuesta | Porcentaje de respuestas (%) | |
|---|------------------------------|--------------------|
| | Cuestionario inicial | Cuestionario final |
| Términos de genotipo y fenotipo | 0 | 75 |
| Características (rasgos) y cualidades que tiene una persona | 75 | 60 |
| Se adquiere gracias a los progenitores (es hereditaria) | 45 | 40 |
| Se encuentra en el ADN | 45 | 80 |
| Dentro del ADN, en los genes | 25 | 35 |
| Se puede modificar con ingeniería genética | 5 | 0 |
| Se encuentra en todos los tipos celulares del organismo | 5 | 5 |
| Lleva la información gracias a la cual crecemos | 5 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

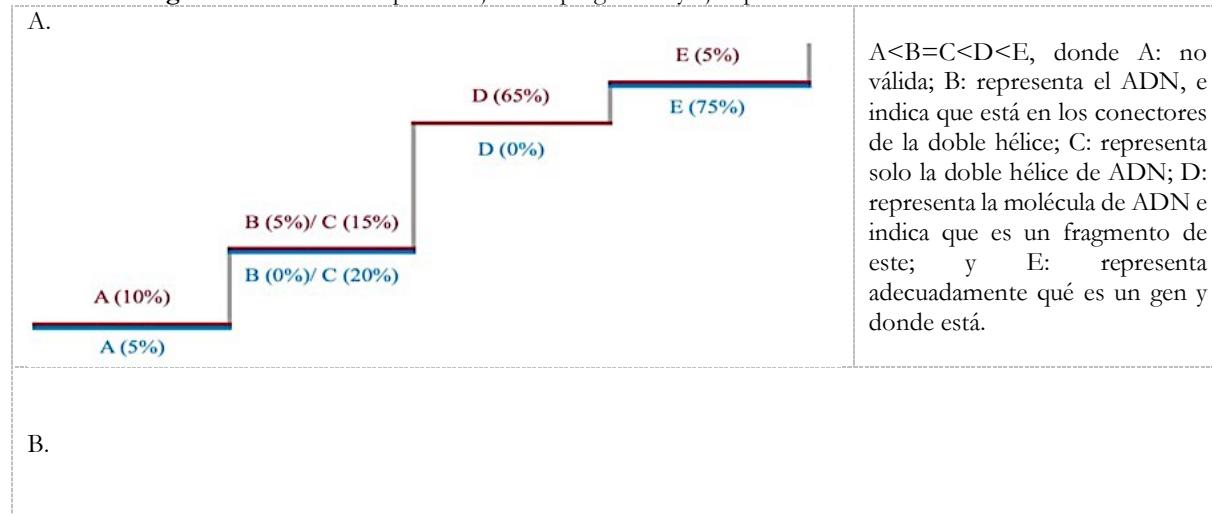
Al final, se evidenció un avance significativo. Un 75% incorporó los conceptos de genotipo y fenotipo, lo que sugiere un mejor entendimiento de la relación entre la información genética y su expresión en los organismos. Además, el porcentaje que consideró el ADN como la ubicación principal de la información genética aumentó al 80%, mientras que un 35% mencionó que *esta*

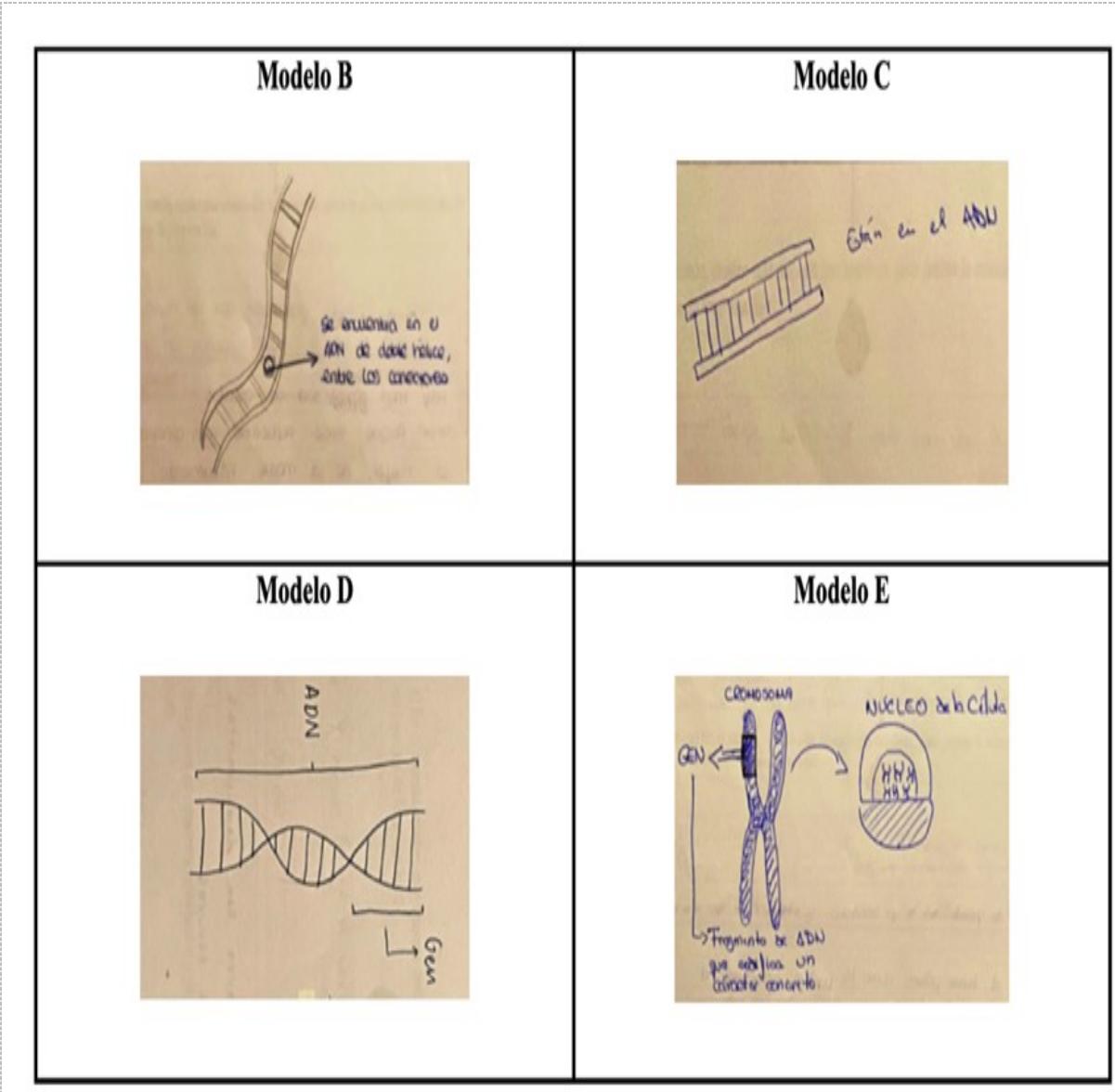
información reside en los genes dentro del ADN. Por otro lado, las respuestas menos completas, como las que vinculaban la información genética únicamente con rasgos personales, disminuyeron al 60%. En general, las respuestas muestran que las actividades lograron mejorar la comprensión sobre la información genética, principalmente las AC del subproblema 3 centradas en el análisis de casos de variabilidad hereditaria (AC₁ y AC₂). Sin embargo, las diferencias en los detalles, sugiere que sería beneficioso realizar ejercicios que relacionen conceptos básicos (ADN, genes) con aspectos aplicados, como *la ingeniería genética o la expresión génica*.

Pregunta 8. Representa mediante un dibujo cómo es para ti un gen y dónde está

Esta pregunta tenía como objetivo conocer las ideas del alumnado relacionadas con los genes y su ubicación, a través de una representación gráfica. En el cuestionario inicial, solo un 5% (nivel E) realizó una representación del gen como un fragmento del ADN, mientras que un 15% dibujó el ADN en su forma de doble hélice sin precisar la localización del gen (C) y un 5% (B) lo situó erróneamente en los conectores de la hélice. La mayoría (65%) se ubicó en el nivel D, representando la molécula de ADN correctamente e identificando el gen como una parte de ella, aunque de forma aún imprecisa. Tras la UDI, se observó un avance significativo, ya que un 75% alcanzó el nivel más alto (E), representando adecuadamente la estructura del ADN y la localización del gen, mientras que un 25% mantuvo respuestas incompletas (A y C). Este progreso se relaciona con las actividades AC₂ y AC₃ desarrolladas en el subproblema 1.

Figura 8 - Escalera de aprendizaje de la pregunta 8 y ejemplos de los 4 modelos observados





Fuente: Elaboración propia.

Discusión y conclusiones

Esta IBD se ha centrado en analizar las progresiones en las ideas y obstáculos de una muestra de estudiantes de secundaria, al participar en una unidad didáctica de orientación constructivista e investigativa. Estas ideas, esenciales para construir nuevos conocimientos, pueden actuar como facilitadoras o como barreras que dificultan el progreso conceptual. Este trabajo aporta evidencias que apoyan la eficacia de la estrategia diseñada para abordar las ideas alternativas de los estudiantes y promover su transición hacia conceptos más sólidos. En relación con la herencia y la reproducción biológica, los resultados coinciden con estudios previos que muestran obstáculos significativos al abordar conceptos como la dominancia, la recombinación genética y la probabilidad en la herencia (Abril *et al.*, 2004; Lewis *et al.*, 2000a). En nuestro caso, hemos aportado *progresiones de aprendizaje* (Duschl *et al.*, 2011) a partir de *escaleras de aprendizaje* que permiten observarlas y analizarlas antes y después de la UDI (Rivero y Porlan, 2017).

Las progresiones más destacadas se produjeron en la pregunta 8, centrada en la representación gráfica del gen, donde se pasó del 5% al 70 % del alumnado capaz de realizar una representación adecuada del concepto. En la pregunta 4, relacionada con la probabilidad de heredar el sexo, el porcentaje del alumnado que alcanzó el nivel más alto aumentó en un 50%, evidenciando una mejora significativa en la comprensión de la independencia genética en cada embarazo.

El estudio también pone de manifiesto diferencias relevantes en conceptos relacionados con la reproducción, especialmente cuando se trata de organismos filogenéticamente alejados de los seres humanos. Investigaciones previas han señalado que la distancia evolutiva, la falta de familiaridad con ciertos seres vivos y una visión antropocéntrica propia del pensamiento común, dificultan la aplicación de conceptos generales, como el de reproducción sexual, a casos concretos menos conocidos (Banet y Ayuso, 2000; Lewis *et al.*, 2000a). En este sentido, la UDI permitió superar parcialmente estas barreras, como se evidencia en los resultados de la pregunta 1. Todo el alumnado fue capaz de identificar correctamente que el mono se reproduce sexualmente, lo que indica una buena construcción del concepto cuando se trata de un organismo cercano. Sin embargo, el verdadero reto se evidenció en los casos del pez y del pino. En el primer caso, se logró que un 65 % más del alumnado alcanzara el nivel más alto tras la intervención, reconociendo que la reproducción ovípara en peces es también un tipo de reproducción sexual. En el caso del pino, las dificultades iniciales fueron mayores, por la menor familiaridad del alumnado con las plantas y su ciclo reproductivo, así como por la dificultad de asociar procesos como la polinización y la formación de semillas con la participación de dos gametos. Aun así, el 65 % del alumnado logró alcanzar el nivel más alto, lo que supone una mejora significativa y la superación de uno de los obstáculos más habituales en este ámbito. Estas mejoras fueron posibles gracias a las actividades de contraste diseñadas para confrontar las ideas espontáneas con modelos científicos y con ejemplos diversos de reproducción. En particular, la AC₃ del subproblema 1, basada en el análisis comparado de imágenes de diferentes organismos y el debate sobre sus modos de reproducción, resultó especialmente efectiva para descentrar el pensamiento antropocéntrico y promover una generalización del concepto de reproducción sexual más allá de los mamíferos.

En cuanto a la comprensión de los mecanismos de herencia genética, analizados en las preguntas 3 y 6, los resultados muestran una evolución positiva en la identificación de los procesos implicados. No obstante, persisten ciertos obstáculos, especialmente en lo relativo a la interpretación de conceptos probabilísticos y a la relación entre genotipo y fenotipo. Estas dificultades parecen estar asociadas tanto a la abstracción inherente a los modelos genéticos como a la confusión entre la información heredada y su expresión observable. En el caso de la pregunta 3, centrada en la proporcionalidad en la herencia genética, solo un 10 % más del alumnado alcanzó el nivel más alto. Sin embargo, se registraron mejoras relevantes en los niveles intermedios, lo que sugiere una reorganización progresiva de las ideas, aunque no siempre consolidada en niveles superiores. Por el contrario, en la pregunta 6, inicialmente ningún estudiante alcanzaba el nivel más alto, y tras la intervención un 65 % lo logró, evidenciando un avance más claro y sólido en la comprensión de los conceptos de dominancia y expresión fenotípica. Estos resultados son coherentes con los desafíos señalados por Southard *et al.* (2016), quienes destacan que el alumnado suele interpretar la herencia como una transmisión directa de rasgos entre progenitores e hijos, sin reconocer la mediación del genotipo. Asimismo, Zhao y Schuchardt (2019) advierten que muchos estudiantes tienden a concebir la dominancia como una posición de *fuerza* entre alelos en competencia, en lugar de entenderla como un patrón de expresión génica. Nuestro estudio sugiere la necesidad de dedicar más actividades de contraste a estos temas para garantizar una comprensión más profunda. Una propuesta eficaz sería el *uso de tarjetas de alelos que permitan simular cruces genéticos entre progenitores con distintos genotipos*. Estas actividades pueden combinarse con la justificación de los resultados fenotípicos obtenidos, favoreciendo que el alumnado explique sus razonamientos y que mejore la conexión entre niveles de organización. Finalmente, en la pregunta 5, relativa a la

distinción entre sexo biológico y género, el alumnado partía de una base sólida, lo que limitó el margen de mejora, aunque se aumentó la precisión argumentativa en las respuestas.

Este trabajo se ha basado en los principios de las IBD, tratando de conectar la teoría y la práctica educativa (Collins *et al.*, 2004; Guisasola *et al.*, 2021) a partir de secuencias de actividades constructivistas basadas en la investigación y resolución de problemas. Como conclusiones más importantes resaltamos que:

a) Las actividades de contraste que parecen haber tenido más influencia en la progresión de los estudiantes son la AC₃ del subproblema 1, centrada en el análisis comparado de la reproducción en distintos seres vivos, la combinación de AC₂, AC₃, AC₆ y AC₁₀ en el subproblema 2, que integra desde el modelo mendeliano hasta la discusión sobre la determinación del sexo, y la AC₁ del subproblema 3 que aborda la diversidad genética y facilita la introducción de los conceptos de gen, ADN y herencia individual. Desde un punto de vista teórico, este estudio confirma la idea de que el diseño, experimentación y evaluación de actividades de contraste, bien ajustadas a los obstáculos del alumnado, son un recurso didáctico que favorece la progresión de las ideas y modelos del alumnado y, por tanto, son muy útiles para la formación docente, pues aprender a elaborar buenas actividades de contraste favorece la emergencia y consolidación de esquemas prácticos coherentes con el principio epistemológico constructivista.

b) El cuestionario inicial y final, en la versión aquí utilizada, ha demostrado ser efectivo para aportar datos significativos sobre los niveles, obstáculos y progresiones del alumnado, pudiéndose considerar validado provisionalmente, a expensas de su continua mejora en futuras aplicaciones.

c) Las escaleras de aprendizaje son una forma muy intuitiva y visual de representar las progresiones del alumnado, siendo un aporte relevante para futuras investigaciones y prácticas docentes.

d) Estas tres aportaciones pueden ser transferidas a programas y modelos de formación docente, contribuyendo a promover enfoques didácticos más coherentes con las demandas sociales, con la alfabetización científica de la ciudadanía y con las aportaciones científicas contemporáneas en este ámbito.

Entre las limitaciones del estudio, destaca la necesidad de ampliar la muestra de estudiantes y replicar la intervención en otros contextos educativos para aumentar la generalización de los resultados. Además, aunque la metodología y las actividades utilizadas han sido efectivas para promover el progreso del aprendizaje, sería recomendable explorar actividades que integren más tecnologías digitales en un marco colaborativo.

Referencias

- Abril, A. M., Mayoral, M. V., & Muela, F. J. (2004). Los medios de comunicación social y la didáctica de la Genética y la Biología Molecular en E.S.O. En *La nueva alfabetización: un reto para la educación del siglo XXI* (pp. 367-368). Centro de Enseñanza Superior en Ciencias de la Educación.
- Adelana, O. P., Ayanwale, M. A., & Sanusi, I. T. (2024). Exploring pre-service biology teachers' intention to teach genetics using an AI intelligent tutoring-based system. *Cogent Education*, 11(1), 2310976. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2310976>

Ardiansyah, R., & Ramli, M. (2020). *The Analysis of Learning Progression on Genetics*. 3rd International Conference on Learning Innovation and Quality Education (ICLIQE), 552-564. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200129.068>

Arifin, Z., Sukarmin, S., & Saputro, S. (2025). Trends and Research Frontiers in Socioscientific Issues for Sustainable Science Education: A Systematic and Bibliometric Analysis from 2014-2024. *Journal of Pedagogical Research*, 9(1), 407-434. <https://doi.org/10.33902/JPR.202530575>

Arpí, C., Ávila, P., Baraldés, M., Benito, H., Gutiérrez, M. J., Orts, M., et al. (2012). La implementación y transferibilidad del ABP. *Aula de Innovación Educativa*, 216, 24-28. <http://hdl.handle.net/10256/8681>.

Asiú, L. E., Asiú, A. M., & Barboza, Ó. A. (2021). Evaluación formativa en la práctica pedagógica: una revisión bibliográfica. *Conrado*, 17(78), 134-139.

Astolfi, J. P. (2003). *El "error", un medio para enseñar*. Díada.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.

Ayuso, G. E., & Banet, E. (2002). "Pienso más como Lamarck que como Darwin": comprender la Herencia Biológica para entender la evolución. *Alambique*, 32(2), 39-47.

Banet, E., & Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 137-153. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4262>

Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313-351. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N)

Bermúdez, G. M. Á. (2022). Cuando el objeto de aprendizaje es la enseñanza. La co-enseñanza en una comunidad de aprendizaje para la formación docente inicial en una didáctica específica. *Praxis educativa*, 26(2), 159-184. <https://doi.org/10.19137/praxeducativa-2022-260209>

Bray, E., Shaw, N., Momsen, J., Reinagel, A., Le, P., Taqieddin, R., et al. (2014). Introductory biology students' conceptual models and explanations of the origin of variation. *CBE—Life Sciences Education*, 13(3), 529-539. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-02-0020>

Bruner, J. S. (1978). The Role of Dialogue in Language Acquisition. En A. Sinclair, R. J. Jarvelle y W. J. M. Levelt (Eds.), *The Child's Concept of Language*. Springer-Verlag.

Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-244.

Campanario, J. M., & Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.

Campos, A. (2005). *Mapas conceptuales, mapas mentales y otras formas de representación del conocimiento*. Magisterio.

Cobo-Huesa, C., Abril, A. M., & Ariza, M. R. (2021). Investigación basada en el diseño en la formación inicial de docentes para una enseñanza integrada de la naturaleza de la ciencia y el

pensamiento crítico. *Eureka*, 18(3), 3801.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3801

Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2

Coronel, M., & Curotto, M. (2008). La resolución de problemas como estrategia de enseñanza y aprendizaje. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 464.

De Alba, N., & Porlán, R. (2020). *Docentes universitarios: Una formación centrada en la práctica*. Morata.

Delord, G. (2020). *Investigar en la clase de ciencias*. Morata.

Delord, G., Hamed, S., Porlán, R., & De-Alba, N. (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De-Alba y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (128-162). Morata.

Delord, G., & Porlán, R. (2024). La Investigación Basada en Diseño: un Ciclo de Mejora en la Formación Inicial de Maestros sobre la Enseñanza de las Ciencias. *Multidisciplinary Journal of Educational Research*, 14(2), 181-201. <http://dx.doi.org/10.17583/remie.10662>

Duit, R. (2009). *Students' and teachers' Conceptions and Science Education*. IPN.

Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>

García, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Díada.

Gil, D., & Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, 31-53.

Guisasola, J., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Eureka*, 18(1), 1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801

Hernández, J. M. F., Bell, R. F. G., Pérez, J. J. R., Arias, J. P. S., Jiménez, E. M. O., Albarracín, R. C. H., et al. (2016). Utilización de las ideas previas en la enseñanza de las ciencias morfológicas en los programas y carreras afines al campo biológico. *Didascalia: Didáctica y Educación*, 7(1), 129-136.

Íñiguez, F. J., & Puigcerver, M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Eureka*, 10(3), 307-327. <https://doi.org/10.498/15441>

Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., Avraamidou, L., & López-Gay, R. (2021). Scientific practices in teacher education: the interplay of sense, sensors and emotions. *Research in Science & Technological Education*, 39(1), 44-67. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158>

Kargbo D., Hobbs E., & Erickson G. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2), 137-146. <https://doi.org/10.1080/00219266.1980.10668980>

Lewis J., Leach J., & Wood-Robinson C. (2000a). All in the genes?-young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74-79. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655689>

Lewis J., Leach J., & Wood-Robinson C. (2000b). Chromosomes: the missing link—young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189-198. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655717>

Lucero, M. M. (2003). Entre el trabajo colaborativo y el aprendizaje colaborativo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 33(1), 1-21. <https://doi.org/10.35362/rie3312923>

Mahmud, M. C., & Gutiérrez, O. A. (2010). Estrategia de Enseñanza Basada en el Cambio Conceptual para la Transformación de Ideas Previas en el Aprendizaje de las Ciencias. *Formación universitaria*, 3(1), 11-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062010000100003>

Martín, J., & Porlán, R. (2024). *El diario del profesor*. Morata.

Martinenco, R. M., García-Romano, L., & Martín, R. B. (2025). *Investigación basada en diseños: Experiencias y proyecciones en el campo de la educación*. UniRío.

Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>

Pérez, M., Clavero, E. J. O., Carbó, J. E., & González, M. (2017). La evaluación formativa en el proceso enseñanza-aprendizaje. *Edumecentro*, 9(3), 263-283.

Pérez, G., Gómez-Galindo, A., & Gómez-Galli, L. (2018). Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Eureka*, 15(2), 2102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102

Picco, S., & Cordero, S. (2021). Articulaciones y tensiones entre la Didáctica General y la Didáctica de las Ciencias Naturales: algunas perspectivas analíticas. *Praxis Educativa*, 25(1), 1-21. <https://dx.doi.org/10.19137/praxiseducativa-2021-250115>

Poczai, P., & Santiago-Blay, J. A. (2021). Principles and biological concepts of heredity before Mendel. *Biology Direct* 16, 19. <https://doi.org/10.1186/s13062-021-00308-4>

Porlán, R., Delord, G., Hamed, S., & Rivero, A. (2020). El cambio de las concepciones y emociones sobre la enseñanza a través de ciclos de mejora en el aula: un estudio con profesores universitarios de ciencias. *Formación universitaria*, 13(4), 183-200. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000400183>

Porlán, R., Pérez-Robles, A., & Delord, G. (2024). La didáctica de las ciencias y la formación docente del profesorado universitario. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 42(1), 5-22. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5998>

Porlán, R., & Villarejo-Ramos, A. F. (2022). *Aprendizaje universitario. Resultados de investigaciones para mejorarlo*. Morata.

Pozo, J. I., & Gómez, M. Á. (2006). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Morata.

Prevost, L. B., Knight, J. K., Smith, M. K., & Urban-Lurain, M. (2013). Student writing reveals their heterogeneous thinking about the origin of genetic variation in populations. En *Proceedings of the National Association for Research in Science Teaching (NARST) annual conference*. Puerto Rico.

Puig, B., & Jiménez, M. P. (2015). El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias. *Eureka*, 12(1), 55-65. <https://doi.org/10498/16924>

Radford, A., & Bird-Stewart, J. A. (1982). Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, 16(3), 177-180. <https://doi.org/10.1080/00219266.1982.9654454>

Rinaudo, M. C., & Donolo, D. (2010). Estudios de diseño. Una perspectiva promisoria en la investigación educativa. *Revista de Educación a Distancia*, 22, 1-29. <https://revistas.um.es/red/article/view/111631>

Rivero, A., & Porlán, R. (2017). La evaluación en la enseñanza universitaria. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 73-91). Morata.

Rodríguez-Palmero, M. L., & Moreira, M. A. (2018). *Mapas conceptuales: herramientas para el aula*. Octaedro.

Ruiz, C., Banet, E., & López, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Eureka*, 14(3), 550-569. <http://dx.doi.org/10498/19507>

Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>

Salamanca, A., Calvo, G., Satrústegui, A., & Martínez, J. (2024). Investigación basada en el diseño: secuencia didáctica sobre gestión de residuos en la formación de profesorado. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 46, 123-138. <https://doi.org/10.7203/DCES.46.27416>

Sanmartí, N. (2007). *10 ideas clave. Evaluar para aprender*. Graó.

Shavelson, R. J., Phillips, D. C., Towne, L., & Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. *Educational Researcher*, 32(1), 25-28. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001025>

Solís, E., Porlán, R., Martín, R., & Batista, J. (2016). Aprender a detectar las ideas del alumnado de Primaria sobre los contenidos escolares de ciencias. *Investigación En La Escuela*, 88, 46–62. <https://doi.org/10.12795/IE.2016.i88.03>

Southard, K., Wince, T., Meddleton, S., & Bolger, M. S. (2016). Features of Knowledge Building in Biology: Understanding Undergraduate Students' Ideas about Molecular Mechanisms. *CBE Life Sciences Education*, 15(1), ar7. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-05-0114>

Talanquer, V. (2015). La importancia de la evaluación formativa. *Educación química*, 26(3), 177-179. <https://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2015.05.001>

Todd, A., & Romine, W. (2018). The Learning Loss Effect in Genetics: What Ideas Do Students Retain or Lose after Instruction? *CBE Life Sciences Education*, 17(4), ar55. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-10-0310>

Vilela, M., Morais, C., & Paiva, J. C. (2025). Inquiry-Based Science Education in High Chemistry: Enhancing Oral and Written Communication Skills Through Authentic and Problem-Based Learning Activities. *Education Sciences*, 15(3), 334. <https://doi.org/10.3390/educsci15030334>

Vygotsky, L. S. (2009). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica.

Zhao, F., & Schuchardt, A. (2019). Exploring Students' Descriptions of Mutation from a Cognitive Perspective Suggests How to Modify Instructional Approaches. *CBE Life Sciences Education*, 18(3), ar45. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-11-0225>

Recibido: 22/07/2025

Versión corregida recibida: 20/09/2025

Aceptado: 25/09/2025

Publicado online: 27/09/2025