



**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

Facultad de Educación

TRABAJO FIN DE MÁSTER
MÁSTER EN PROFESOR DE ESO Y BACH, FP Y ENSEÑANZA DE
IDIOMAS

***PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
INTERVENCIÓN EDUCATIVA PARA EL ABORDAJE DE
LA BIOTECNOLOGÍA DESDE LA CONTROVERSI
SOCIOCIENTÍFICA***

Autora: Beatriz Julia Almarán Alarcón

Especialidad: Biología y Geología

Tutora: Bárbara de Aymerich Vadillo

Curso académico: 2022-2023

Índice de apartados

Resumen	1
Abstract.....	2
1. Justificación.....	3
2. Marco teórico.....	3
2.1. Biotecnología: definición y principales hitos	3
2.2 Controversias sociocientíficas y alfabetización científica.....	5
2.3. Actitudes del alumnado de secundaria ante la ciencia y la biotecnología	7
2.4 Fundamentación pedagógica	8
2.4.1 Aprendizaje Basado en Proyectos	8
2.4.2 Aprendizaje significativo.....	10
2.4.3 Revisión de noticias.....	10
2.4.4 Uso de las TIC	11
2.5 Objetivos.....	12
3. Propuesta didáctica.....	12
3.1. Marco legislativo	12
3.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible	12
3.1.2 Concreción curricular	13
3.2 Implementación de la propuesta didáctica	19
3.2.1 Breve descripción de la propuesta didáctica.....	19
3.2.2 Metodología.....	19
3.2.3. Objetivos de la propuesta didáctica	21
3.2.4. Contexto	21
3.3.5 Temporalización y actividades	22
3.3.6 Espacios y agrupamientos	22
3.3.7 Elaboración de recursos y materiales	23

3.3.8 Atención a la diversidad	28
3.3.9 Evaluación del alumnado.....	29
4. Resultados.....	30
4.1 Evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología ..	30
4.1.1 Análisis comparativo entre el cuestionario previo y el cuestionario posterior	30
4.1.2 Análisis de los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología tras la propuesta	36
4.2. Evaluación de la implantación de la propuesta didáctica	39
4.3 Limitaciones y propuestas de mejora	42
4.3.1 Limitaciones de la evaluación de los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología	42
4.3.2. Limitaciones de la implementación de la propuesta.....	422
5. Conclusiones.....	43
6. Referencias	44

Índice de figuras

Figura 1.....	18
Figura 2.....	26
Figura 3.....	26
Figura 4.....	27
Figura 5.....	27
Figura 6.....	28
Figura 7.....	31
Figura 8.....	34
Figura 9.....	35
Figura 10.....	36
Figura 11.....	37
Figura 12.....	38
Figura 13.....	40
Figura 14.....	41

Índice de tablas

Tabla 1.....	4
Tabla 2.....	13
Tabla 3.....	16
Tabla 4.....	22
Tabla 5.....	23
Tabla 6.....	24
Tabla 7.....	30
Tabla 8.....	31

Índice de anexos

Anexo I. Cuestionario inicial sobre la percepción del alumnado frente a diversos aspectos de la biotecnología.....	48
Anexo II. Cuestionario de satisfacción del alumnado sobre la propuesta.....	49
Anexo III. Ejemplos de fichas de trabajo: ATryn y Salmones aquAdvantage.....	50
ANEXO IV. Presentación con las instrucciones para la elaboración de la infografía....	54
ANEXO V. Rúbrica para la evaluación de la presentación	56
ANEXO VI. Ejemplos de infografías elaboradas por el alumnado.....	57

Resumen

El desarrollo de la biotecnología moderna en las últimas décadas ha desempeñado un papel fundamental en diversas áreas como la medicina, la agricultura o la industria. Sin embargo, este auge no ha estado exento de polémicas en diversos sectores de la sociedad, confiriendo a la biotecnología un papel destacado entre las denominadas controversias sociocientíficas: problemáticas sociales de raíz científica que también abarcan otros aspectos éticos, políticos, medioambientales y sociales. En este contexto, resulta fundamental la alfabetización científica —competencia STEM en la legislación educativa vigente— para comprender la base científica subyacente y evaluar las implicaciones de estas controversias.

El objetivo principal de este Trabajo Final de Máster (TFM) ha sido presentar una propuesta didáctica innovadora para el alumnado de 4º de ESO que ofrezca a los estudiantes un escenario en el cual puedan enfrentarse a las controversias sociocientíficas en el ámbito de la biotecnología desde la reflexión crítica, permitiendo así el desarrollo de habilidades y competencias necesarias para una ciudadanía informada y participativa. La propuesta, la cual integra elementos del Aprendizaje Basado en Proyectos junto con el uso de noticias reales y las tecnologías de la información y comunicación, se ha implementado durante el transcurso de las prácticas, con una evaluación favorable por parte del alumnado.

Palabras clave: *biotecnología, educación, controversia sociocientífica, alfabetización científica, pensamiento crítico*

Abstract

The progress of biotechnology over the past few decades has played a crucial role in multiple fields such as medicine, agriculture and industry. However, this development has always been surrounded by controversy in diverse sectors of society, granting biotechnology a prominent position among the socioscientific issues: social controversies presenting a scientific foundation that comprise other ethical, political, environmental and social concerns. In such context, scientific literacy —STEM competence in the current educational legislation— becomes essential in order to understand the underlying scientific framework and evaluate the implications of these controversies in other areas.

The main goal of this work has been to present an innovative educational proposal for 4th graders of secondary education that provides students with a scenario to engage with socioscientific issues in the field of biotechnology from a critical perspective, thus enabling the development of the necessary skills for an informed and participatory citizenship. The proposal, which integrates elements of Project-Based Learning along with the use of real news and information and communication technologies, has been implemented during the course of the practicum, receiving positive feedback from the students.

Keywords: *biotechnology, education, socioscientific issues, science literacy, critical thinking*

1. Justificación

La biotecnología moderna juega un papel crucial en la sociedad contemporánea, ofreciendo un amplio rango de aplicaciones biotecnológicas en áreas tales como la medicina, la agricultura y la ganadería o la conservación del medioambiente, cuyo número no hace sino crecer. Aplicaciones de las cuales se hacen eco los medios de comunicación y que son foco de numerosas controversias sociocientíficas, para cuyo abordaje se requiere de un enfoque crítico y una sólida alfabetización científica por parte de la sociedad, en la cual juega un papel fundamental el sistema educativo.

La presente propuesta didáctica se contextualiza en 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) debido a varios aspectos: por un lado, la inclusión de los contenidos de biología molecular y biotecnología en el currículo de 4º de ESO, y por otro, el aumento en la madurez cognitiva y personal del alumnado de este curso, que además es receptor de una ingente cantidad de información a través de los diferentes medios de comunicación y redes sociales.

De estos hechos, junto con la necesidad de promover de metodologías activas en las aulas que fomenten la participación activa, el trabajo colaborativo y el aprendizaje significativo, surge la propuesta didáctica del presente trabajo. Mediante la integración de elementos del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPr), la utilización de noticias reales y el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación, se pretende proporcionar un entorno de aprendizaje en el que los estudiantes puedan abordar diferentes aplicaciones de la biotecnología, explorar las controversias sociocientíficas asociadas y reflexionar sobre las implicaciones éticas que plantean.

2. Marco teórico

2.1. Biotecnología: definición y principales hitos

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define la **biotecnología** como la aplicación de la ciencia y la tecnología en organismos vivos, así como a sus partes, productos y modelos de los mismos, con el fin de alterar materiales vivos o inertes para la producción de conocimiento, bienes y servicios (Van Beuzekom & Arundel, 2006). A pesar de que la biotecnología ha sido utilizada tradicionalmente para muchos fines, tales como la obtención de organismos más resistentes o productivos, la

utilización de microorganismos en la industria alimentaria para producción de alimentos como el vino o yogur, etc.; hoy en día nos referimos a este tipo de aplicaciones como 'biotecnología tradicional', en contraposición a la llamada 'biotecnología moderna' (Verma et al., 2011).

La aparición de este último término se encuentra estrechamente vinculada al avance que se ha producido en las últimas décadas en diferentes áreas de la ciencia y la tecnología como la biología molecular, la ingeniería de tejidos, la genómica y, en especial, la ingeniería genética, disciplina dedicada a la manipulación del material genético. En la *Tabla 1* se recogen algunos de los principales hitos del avance de la biotecnología moderna hasta que el Proyecto Genoma Humano publicó el primer mapa del genoma humano en el 2003.

Tabla 1. Principales hitos de la biotecnología desde la acuñación del término hasta la presentación del genoma humano por parte del Proyecto Genoma Humano de 2003

Año	Hito
1919	Károly Ereki acuña el término Biotecnología
1920-1930	Descubrimiento de la mutagénesis
1952	George Gey establece la línea celular HeLa
1953	James Watson, Francis Crick y Rosalind Franklin descubren la estructura del ADN
1970	Norman Borlaug gana el Premio Nobel por su trabajo en el desarrollo de plantas de trigo con mayor productividad
1973	Stanley Cohen y Herbert Boyer desarrollan la técnica del ADN recombinante
1978	La compañía Genentech, fundada por Boyer, utiliza <i>Escherichia coli</i> para producir insulina humana Nace el primer ' <i>bebé probeta</i> '
1982	Se aprueba la primera proteína recombinante
1984	Alec Jeffreys desarrolla la técnica de la huella genética
1986	Se cultivan las primeras plantas modificadas genéticamente: plantas de tabaco resistente a un antibiótico Kary Mullis desarrolla la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, <i>polymerase chain reaction</i>)
1990	El Instituto Nacional de la Salud de los Estados Unidos (NIH, <i>National Institute of Health</i>) lanza el Proyecto Genoma Humano Se aprueba el primer protocolo clínico para el uso de la terapia génica en el tratamiento de la deficiencia en adenosín deaminasa (ADA)
	Se aprueba la comercialización del tomate FlavrSavr, primer alimento transgénico, desarrollado por la empresa Calgene
1997	Se clona al primera mamífero: la oveja Dolly
1998	Se secuencian el genoma del primer organismo multicelular: el gusano <i>Caenorhabditis elegans</i>
2000	Se secuencian el genoma de la primera planta: <i>Arabidopsis thaliana</i>
2003	El Proyecto Genoma Humano presenta la secuencia completa del genoma humano

Siguiendo esta línea temporal, a lo largo del siglo XXI el desarrollo de nuevas técnicas de secuenciación y de bioinformática ha supuesto una auténtica revolución en el campo de la biotecnología y la biomedicina, que han sido testigos de una ingente cantidad de hitos que están transformando la ciencia y la tecnología. Entre ellos, ocupa un lugar predilecto el desarrollo de la herramienta de edición genética CRISPR-Cas9, descubierta por el investigador Francisco Mojica y que, en 2020, les valió el Nobel de Química a las investigadoras Jennifer Doudna y Emmanuele Charpentier.

2.2 Controversias sociocientíficas y alfabetización científica

Los descubrimientos y aplicaciones biotecnológicas a partir de la década de los 70 dio inicio a lo que muchos consideran 'la Era de la Biotecnología'. Esta disciplina ha estado rodeada de debate y polémica desde los inicios; tanto es así, que ocupa un lugar destacado entre las denominadas **controversias sociocientíficas**: problemáticas sociales que tienen su base en nociones científicas pero que, además, se encuentran relacionadas con dimensiones éticas, sociales, políticas y ambientales (Díaz Moreno y Jiménez-Liso, 2014).

Las razones subyacentes al conflicto sociocientífico frente a la biotecnología suponen un tema extremadamente complejo que contempla numerosos factores geográficos, ideológicos, religiosos, culturales y socioeconómicos, entre otros. Por ejemplo, la cultura nacional afecta de forma diferente sobre cómo las personas interpretan y reaccionan a la ciencia (Scheufele et al., 2008); motivo por el que un asunto científico puede ser polémico en Estados Unidos pero no en Europa, como es el caso del cambio climático, o viceversa, como en el caso de la introducción de organismos modificados genéticamente (OMG) como alimentos. Sin embargo, a pesar de la dimensión multifactorial inherente a estas controversias sociocientíficas, su naturaleza a menudo comparte características comunes, siendo una de ellas la **incertidumbre** frente a las nociones científicas que percibe la sociedad: bien frente a la ciencia en sí, o bien frente a la información recibida desde los medios de comunicación, cuyo mensaje es frecuentemente diferente e, incluso, contradictorio (National Academies of Sciences, 2017).

Uno de los elementos claves para atacar o minimizar la sensación de incertidumbre de la sociedad frente al conocimiento científico es la **alfabetización científica**, puesto que en el contexto de la controversia sociocientífica es fundamental comprender la evidencia

subyacente para eliminar el recelo frente a un determinado asunto científico (National Academies of Sciences, 2017).

La alfabetización científica (en inglés *science literacy*) es definida por la OECD como: "la capacidad de relacionarse con temas relacionados con la ciencia, y con ideas de la ciencia, como ciudadano reflexivo" (OECD, 2015). Así, una persona alfabetizada científicamente está dispuesta a participar en un discurso razonado sobre ciencia y tecnología, lo cual, según Koeppen et al. (2008) y la OECD (2015) requiere las competencias necesarias para:

1. Explicar fenómenos científicamente: reconocer, ofrecer y evaluar explicaciones para una variedad de fenómenos naturales y tecnológicos.
2. Evaluar y diseñar investigaciones científicas: describir y evaluar investigaciones científicas y proponer formas de abordar preguntas científicamente.
3. Interpretar datos y evidencias científicamente: analizar y evaluar datos, afirmaciones y argumentos en diversas representaciones y extraer conclusiones científicas apropiadas.

Así pues, la alfabetización científica va más allá de la mera adquisición de conocimientos científicos. Incluye habilidades como la capacidad de formular preguntas, recopilar y analizar datos, evaluar la evidencia, comprender los métodos y procesos, y comunicar y argumentar sobre temas científicos. También implica actitudes críticas y reflexivas hacia la ciencia como el escepticismo informado, la curiosidad intelectual y el reconocimiento de los beneficios y limitaciones de la ciencia en la sociedad.

En el contexto del presente trabajo, el cual se enmarca en la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE), el concepto de Alfabetización Científica se integraría dentro de la Competencia Matemática y Competencia en Ciencia, Tecnología e Ingeniería, de ahora en adelante Competencia STEM por sus siglas en inglés "*Science, Technology, Engineering and Mathematics*". El Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León, en su Anexo I.A "Competencias clave en Educación Secundaria Obligatoria" estipula que:

La competencia en ciencia es la habilidad de comprender y explicar el mundo natural y social utilizando un conjunto de conocimientos y metodologías,

incluidas la observación, la experimentación y la contrastación, con el fin de plantear preguntas y extraer conclusiones basadas en pruebas para así poder interpretar, conservar y mejorar el mundo natural y el contexto social. (Decreto 39/2022 Anexo I.A p. 48888).

Por ello, en el contexto de la legislación educativa vigente en el Estado Español, el concepto de alfabetización científica se englobaría dentro de la competencia STEM.

2.3. Actitudes del alumnado de secundaria ante la ciencia y la biotecnología

Desafortunadamente, se han descrito en diferentes contextos educativos un creciente desinterés y una desmotivación generalizada frente al estudio de las ciencias a lo largo de la etapa de enseñanza secundaria (Osborne & Dillon, 2008). Estas actitudes se traducen en un descenso de estudiantes en las asignaturas científicas de carácter científico a lo largo de la educación secundaria obligatoria, culminando en un menor número de estudiantes en el Bachillerato científico (Solbes et al., 2007). Algunas de las causas señaladas por el alumnado para explicar su desmotivación y desinterés frente a las clases de biología hacen referencia a la metodología pedagógica, predominantemente tradicional; la falta de relevancia y conexión con la realidad del estudiante y la vida cotidiana; la ausencia de un enfoque práctico y experimental, que permita la realización de experimentos, investigaciones y/o actividades prácticas que fomenten la emoción; y, la falta de recursos y tecnología actualizados y atractivos, tales como simulaciones y herramientas interactivas, entre otras (Gibson y Chase, 2002; Solbes et al., 2007).

En cuanto a la biotecnología en particular, a la progresiva desmotivación del alumnado frente a ciencias a lo largo de la etapa de enseñanza secundaria se añade la dificultad de la comprensión de los conocimientos biotecnológicos, los cuales han sido con frecuencia descritos como erróneos e insuficientes en diferentes contextos educativos (Dawson y Schibeci, 2010). Datos españoles, como los recogidos en este estudio realizado en 104 estudiantes de 4º de ESO en la Comunidad Autónoma de Andalucía, muestran como la mayoría de los alumnos, al finalizar la enseñanza obligatoria, no poseen los conocimientos necesarios para comprender gran parte de los conceptos biotecnológicos relevantes en la sociedad contemporánea (de la Vega Naranjo et al., 2018). Este estudio también muestra cómo las actitudes del alumnado frente a la biotecnología se encuentran fuertemente influenciadas por su propio conocimiento sobre el tema -enfaticando nuevamente la importancia de la alfabetización científica frente a la controversia

sociocientífica-, así como por las concepciones procedentes de la sociedad y los medios de comunicación -recalcando la importancia de la actitud crítica y reflexiva-.

En este contexto general, la biotecnología, dado su cariz controvertido y su relevancia en la sociedad actual, ofrece un marco ideal para fomentar la alfabetización científica y el pensamiento crítico, además de un excelente escenario para el desarrollo de propuestas educativas que promuevan una actitud positiva del alumnado. La alfabetización científica juega un papel fundamental en el abordaje de controversias sociocientíficas y la mitigación de la desmotivación del alumnado en el estudio de disciplinas como la biotecnología, proporcionando a los estudiantes las herramientas necesarias para comprender y analizar de manera crítica los aspectos científicos y sociales implicados en estas controversias. Además, al integrar propuestas didácticas innovadoras que se centren en la biotecnología se puede despertar el interés y la motivación de los estudiantes, ofreciéndoles experiencias prácticas, así como la oportunidad de explorar las implicaciones éticas, ambientales y sociales de la biotecnología. Mediante el fomento de una alfabetización científica sólida y la promoción de la participación activa del alumnado en la comprensión y evaluación de las controversias sociocientíficas en el campo de la biotecnología se puede cultivar una generación de ciudadanos informados y comprometidos con la ciencia y su impacto en la sociedad.

2.4 Fundamentación pedagógica

La presente propuesta didáctica se basa en un enfoque pedagógico centrado en el aprendizaje activo y significativo del alumnado, orientado a fomentar la motivación de los estudiantes a través de la alfabetización científica en el contexto de la controversia sociocientífica en torno a diferentes aplicaciones biotecnológicas. Dicho enfoque integra varios elementos clave para potenciar el aprendizaje de los estudiantes.

2.4.1 Aprendizaje Basado en Proyectos

Mediante un abordaje basado en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPr), donde el alumnado trabaja de manera activa e investigativa, abordando situaciones reales y aplicando los conocimientos adquiridos, se pretende promover su participación activa, el desarrollo de habilidades de resolución de problemas y la adquisición de conocimientos de manera contextualizada.

El ABPr constituye un enfoque educativo centrado en el alumno y basado en tres principios constructivistas: 1) el aprendizaje es específico del contexto, 2) los estudiantes participan activamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje y 3) logran sus objetivos a través de interacciones sociales y el intercambio de conocimientos y comprensión (Kokotsaki et al., 2016). Markula y Aksela (2022) revisan las seis características claves del ABPr propuestas por Krajcik y Shin (2014):

1. Pregunta clave. Es abierta, tiene conexión con el mundo real y crea la necesidad de entender los conceptos científicos centrales relacionados con la temática de estudio.
2. Metas de aprendizaje. Permite a los estudiantes adquirir conocimientos y competencias centrales del currículo.
3. Prácticas científicas. Los estudiantes deben usar métodos científicos de forma activa con el fin de resolver y estudiar la pregunta clave.
4. Colaboración. Los estudiantes deben colaborar entre ellos para resolver la pregunta clave.
5. Uso de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). La educación científica debe modelar la importancia de las TIC en la investigación moderna.
6. Creación de un proyecto final. La creación de un producto final se ha propuesto como el factor distintivo entre el ABPr, el Aprendizaje basado en Problemas y el Aprendizaje Basado en Indagación. Los productos finales presentan el trabajo cognitivo de los estudiantes y su nivel de comprensión, y tienen un formato concreto (carteles, maquetas, sitios web, etc.).

La presente propuesta didáctica, a pesar de no tratarse estrictamente de un enfoque basado en el ABPr, incorpora elementos claves del mismo:

- Presenta una pregunta clave conectada con el mundo a través de una noticia real.
- Posee metas específicas de aprendizaje contextualizadas dentro del marco legislativo del currículo.
- Aunque no permite la realización de una experimentación práctica como tal, proporciona a los estudiantes la oportunidad de desarrollar habilidades científicas de pensamiento y análisis crítico.
- Las agrupaciones permiten la colaboración entre los estudiantes.
- Los estudiantes utilizan las TIC como herramientas fundamentales para acceder a la información y elaborar el producto final.

- Los estudiantes crean un producto final: una infografía que integra y sintetiza la información de una aplicación biotecnológica concreta de manera visual y atractiva, que además deberán presentar al resto de estudiantes, fomentando así su capacidad de comunicación.

2.4.2 Aprendizaje significativo

El aprendizaje significativo se encuentra enmarcado dentro del modelo constructivista de aprendizaje y hace referencia, según el psicólogo David Ausubel, al proceso en el cual los estudiantes adquieren nuevos conocimientos al relacionarlos con su conocimiento previo relevante dentro de su estructura cognitiva (Ausubel, 1960). Este modelo implica la integración de nueva información en los marcos cognitivos existentes, o mapas conceptuales, lo que permite establecer conexiones y asociaciones significativa. Esto se produce cuando los estudiantes relacionan activamente la nueva información con lo que ya saben, lo que resulta en una comprensión más profunda y significativa de la materia. Mediante este modelo se enfatiza la importancia de la organización y la integración de la información, así como la relevancia y la conexión con experiencias y conocimientos previos del estudiante. El ABPr es uno de los enfoques educativos que reflejan el modelo constructivista, dado que fomenta el aprendizaje significativo al enfrentar a los estudiantes a situaciones reales y desafiantes, involucrándolos en un aprendizaje activo y profundo donde pueden desarrollar habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y toma de decisiones informadas, lo que contribuye a un aprendizaje más duradero (Jumaat et al., 2017).

La presente propuesta didáctica busca conseguir un aprendizaje significativo a través del cual los estudiantes puedan relacionar los conceptos y principios de la biotecnología con su vida cotidiana y su entorno mediante la aportación de ejemplos concretos y reales de las aplicaciones de la biotecnología, recalcando la relevancia y el impacto de estos avances científicos en la sociedad actual.

2.4.3 Revisión de noticias

La propuesta didáctica presentada hace uso de **noticias actuales**, un recurso didáctico que contribuye a la alfabetización científica al promover la capacidad de comprender, evaluar y aplicar conceptos científicos en contextos del mundo real (Elliott, 2007). Al interactuar con noticias científicas, los estudiantes adquieren una comprensión más profunda de

cómo la biotecnología afecta a la sociedad actual, y se convierten en ciudadanos informados capaces de tomar decisiones fundamentadas sobre temas científicos y tecnológicos que impactan en su vida cotidiana. De esta forma, la inclusión de noticias científicas en la propuesta subraya la importancia de la alfabetización científica en la formación de ciudadanos críticos y comprometidos con la sociedad actual, capacitándolos para participar en debates informados y tomar decisiones éticas sobre cuestiones relacionadas con la biotecnología y sus implicaciones sociales y éticas.

2.4.4 Uso de las TIC

La propuesta didáctica hace un amplio **uso de las TIC** para enriquecer el proceso de aprendizaje de los estudiantes. A través de la incorporación de recursos digitales, los estudiantes tienen la oportunidad de acceder a información actualizada, investigar sobre aplicaciones reales de la biotecnología, elaborar infografías y colaborar de manera virtual con sus compañeros. El uso de las TIC en la propuesta no solo proporciona un enfoque innovador y motivador, sino que también potencia el desarrollo de habilidades digitales y competencias necesarias para la sociedad actual, preparando a los estudiantes para ser ciudadanos activos y críticos en la era digital.

A la hora de plantear la propuesta didáctica se eligió la herramienta *Genial.ly* para crear una interfaz interactiva emulando un laboratorio de investigación a través de la cual proporcionar al alumnado los recursos didácticos necesarios. *Genial.ly* se presenta como un recurso altamente efectivo para presentar información al alumnado, ya que ofrece una interfaz interactiva y atractiva que permite combinar elementos visuales, multimedia y enlaces a noticias relevantes de biotecnología, facilitando así la comprensión y el análisis de los contenidos de manera dinámica y atractiva (Ponce-Sacoto & Constantino Ochoa-Encalada, 2021).

En definitiva, al combinar elementos del ABPr con la revisión de noticias científicas actuales de ejemplos concretos y reales de aplicaciones biotecnológicas, así como su posterior presentación y reflexión en el aula, consideramos que la presente propuesta didáctica ofrece un enfoque pedagógico atractivo y motivador para el alumnado. Además, la integración de recursos digitales, como la plataforma *Genial.ly*, permite presentar la información de manera visual y dinámica, persiguiendo aumentar el interés y la participación de los estudiantes. En conjunto, esta propuesta busca despertar la

curiosidad, promover la motivación intrínseca y desarrollar habilidades de pensamiento crítico y análisis, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos de la sociedad actual y fomentando un aprendizaje significativo y duradero.

2.5 Objetivos

El objetivo principal del presente TFM es diseñar, implementar y evaluar una propuesta didáctica innovadora basada en el análisis de aplicaciones reales de la biotecnología que promueva el aprendizaje significativo y el desarrollo de habilidades científicas en los estudiantes de Biología y Geología de 4º de ESO.

Este objetivo se subdivide en los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar una propuesta didáctica innovadora basada en el análisis de aplicaciones reales de la biotecnología en el contexto de las controversias sociocientíficas.
2. Implementar la propuesta en las clases de Biología y Geología de 4º de ESO.
3. Evaluar la implantación de la propuesta didáctica a través de la satisfacción del alumnado y la reflexión crítica.
4. Analizar los conocimientos y actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología antes y después de la implementación de la propuesta.

3. Propuesta didáctica

3.1. Marco legislativo

3.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen una agenda global establecida por la asamblea General de las Naciones Unidas en 2015 que abarca 17 objetivos interconectados, y cuya finalidad es abordar los desafíos más urgentes que enfrenta nuestro mundo, como la pobreza, el hambre, la desigualdad, el cambio climático y la degradación ambiental (ONU, 2015).

En este contexto, la presente propuesta didáctica se alinea con el *ODS 4 – Educación de Calidad*, que busca garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad para todos. A través del enfoque pedagógico centrado en el aprendizaje significativo, se promueve la participación activa de los estudiantes, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico

y la capacidad de resolver problemas reales. Asimismo, al utilizar recursos digitales y tecnología, se fomenta el acceso a la información y la alfabetización digital, aspectos clave para una educación de calidad en la era digital. La propuesta didáctica presentada también se enmarca en el *ODS 12 – Producción y consumo responsable*; en tanto que permite a los estudiantes comprender cómo la biotecnología puede contribuir a la producción de alimentos más seguros y sostenibles, así como a la reducción del impacto ambiental de ciertos procesos industriales. Además, al abordar la controversia sociocientífica, se estimula la reflexión crítica sobre los beneficios y posibles riesgos de la biotecnología, fomentando una ciudadanía informada y responsable.

3.1.2 Concreción curricular

La presente propuesta educativa se ha llevado a cabo en 4º curso de ESO en el curso escolar 2022-2023, por lo que se integra — y se ha implantado— dentro de la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE), de 9 de diciembre. No obstante, dado el periodo de transición en la legislación educativa en el Estado Español en el que nos encontramos, para el presente TFM hemos considerado de mayor interés contextualizar la propuesta dentro de la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE); el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria; y, a nivel autonómico, dentro del Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León.

3.1.2.1 Objetivos de Etapa

A través de la presente propuesta didáctica se pretende contribuir al desarrollo de los Objetivos de Etapa estipulados en el Artículo 7 del Real Decreto 217/2022 recogidos en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Contribución de la propuesta didáctica al desarrollo de los Objetivos de Etapa

Objetivo de etapa	Contribución de la propuesta didáctica
b) Desarrollar y consolidar hábitos de disciplina, estudio y trabajo individual y en equipo como condición necesaria para una realización eficaz de las tareas del aprendizaje y como medio de desarrollo personal.	Al promover la participación activa del alumnado de forma individual y colectiva.

<p>e) Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos. Desarrollar las competencias tecnológicas básicas y avanzar en una reflexión ética sobre su funcionamiento y utilización.</p>	<p>Al utilizar noticias reales y fomentar el uso de las TIC.</p>
<p>f) Concebir el conocimiento científico como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia.</p>	<p>Al abordar diferentes aplicaciones de la biotecnología que requieren la comprensión y combinación de conocimientos de múltiples disciplinas, como la ingeniería química, la biología molecular o la ecología. Al promover la identificación de problemas y desafíos, aplicando métodos de investigación y razonamiento crítico para comprender y abordar situaciones complejas relacionadas con la ciencia y la sociedad.</p>
<p>g) Desarrollar el espíritu emprendedor y la confianza en sí mismo, la participación, el sentido crítico, la iniciativa personal y la capacidad para aprender a aprender, planificar, tomar decisiones y asumir responsabilidades.</p>	<p>Al fomentar la participación activa de los estudiantes en la elaboración de proyectos de investigación y la presentación de sus resultados. Al abordar los trabajos por parejas y asumir responsabilidades al planificar, tomar decisiones y organizar su trabajo.</p>
<p>h) Comprender y expresar con corrección, oralmente y por escrito, en la lengua castellana y, si la hubiere, en la lengua cooficial de la comunidad autónoma, textos y mensajes complejos, e iniciarse en el conocimiento, la lectura y el estudio de la literatura.</p>	<p>Mediante el análisis de noticias, la extracción de información relevante, la elaboración de infografías y la comunicación de las misma. Al presentar sus trabajos ante sus compañeros se fomenta la oportunidad de desarrollar sus habilidades de expresión oral, argumentación y debate en un contexto científico.</p>
<p>k) [...] Valorar críticamente los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado, la empatía y el respeto hacia los seres vivos, especialmente los animales, y el medio ambiente, contribuyendo a su conservación y mejora.</p>	<p>Al explorar diferentes aplicaciones de la biotecnología, los estudiantes se enfrentan a cuestiones éticas y morales relacionadas con el uso de estas tecnologías. Al fomentar el pensamiento crítico sobre cómo nuestras decisiones individuales y colectivas pueden afectar la salud, el medio ambiente y los seres vivos; y considerar el impacto de nuestras elecciones en términos de consumo responsable y respeto hacia los seres vivos.</p>
<p>l) Apreciar la creación artística y comprender el lenguaje de las distintas manifestaciones artísticas, utilizando diversos medios de expresión y representación.</p>	<p>Al presentar sus trabajos mediante una infografía, lo cual otorga a los estudiantes la oportunidad de desarrollar su creatividad y expresión artística durante el diseño.</p>

3.1.2.2. Competencias Clave y Competencias Específicas.

Desde la presente propuesta se pretende abordar diversas Competencias Específicas de la materia de Biología y Geología, las cuales se encuentran recogidas en la *Tabla 3*. Estas competencias específicas se encuentran desglosadas en los Criterios de Evaluación correspondientes al 4º curso de ESO abordados por la propuesta, los cuales se vinculan a

las Competencias Clave del Perfil de Salida a través de los Descriptores Operativos. La relación entre estos elementos curriculares se recoge en la *Tabla 3*.

Estas relaciones criteriosales se han plasmado también en el mapa de relaciones criteriosales de la *Figura 1*, donde además se ha calculado, a través del número de vinculaciones entre Competencias Específicas y Competencias Clave, el porcentaje de contribución de la propuesta a cada una de las competencias clave. Al observar dichos porcentajes podemos comprobar cómo la propuesta contribuye, principalmente, al desarrollo de la Competencia Digital, Competencia STEM, Competencia en Comunicación Lingüística y Competencia Emprendedora; Competencias Clave que encajan con los Objetivos de Etapa descritos en el apartado 3.1.2.1 y que se alinean con la propuesta didáctica.

3.1.2.3 Saberes Básicos o Contenidos

En cuanto a los Saberes Básicos o Contenidos en la legislación autonómica, la propuesta didáctica se enmarcaría dentro del Bloque C. Genética y evolución, relacionándose con los contenidos:

- Modelo simplificado de la estructura del ADN y del ARN y relación con su función y síntesis.
- Etapas de la expresión génica y de las características del código genético. Resolución de problemas relacionados con estas.
- Ingeniería genética: principales técnicas utilizadas y relevancia en el sistema de salud.
- Mutaciones y la replicación del ADN. Influencia en la evolución y la biodiversidad. Influencia en el cáncer.

En la legislación actual los Contenidos constituyen el marco fundamental para desarrollar y adquirir las competencias específicas de la materia; y están dotados de una cierta flexibilidad curricular. Así, la propuesta didáctica podría beneficiarse de dicha flexibilidad adaptándose de manera efectiva a las aplicaciones biotecnológicas más actuales, fomentando así una educación actualizada y relevante para los estudiantes.

Tabla 3. Competencias Específicas abordadas en la propuesta y vinculación con las Competencias Clave.

Competencias específicas	Criterios de evaluación	Vinculación con los descriptores operativos de las competencias clave
<p>1. Interpretar transmitir información y datos científicos y argumentar sobre ellos utilizando de forma adecuada la terminología científica y en diferentes formatos para analizar conceptos y procesos de las ciencias biológicas y geológicas.</p>	<p>1.1 Analizar conceptos y procesos relacionados con los contenidos de Biología y Geología interpretando y organizando la información en diferentes formatos (textos, [...], páginas web, entre otros) y/o en idiomas diferentes, procedentes de fuentes de información fiables, manteniendo una actitud crítica, obteniendo conclusiones y formando opiniones propias fundamentadas evitando la propagación y consolidación en la sociedad de ideas sin fundamento científico relacionadas con los contenidos de Biología y Geología.</p>	<p>CCL2, CP1, STEM2, STEM4, CD1, CD2, CPSAA4</p>
	<p>1.2 Transmitir opiniones propias fundamentadas e información sobre Biología y Geología de forma clara y rigurosa, facilitando su comprensión y análisis mediante el uso de la terminología y el formato adecuados (modelos, gráficos, [...]).</p>	<p>CCL1, CCL2, CCL5, CP1, STEM2, STEM4, CD1, CD2, CD3, CE1</p>
<p>2. Identificar, localizar y seleccionar información, contrastando su veracidad, organizándola y evaluándola críticamente para resolver preguntas relacionadas con las ciencias biológicas y geológicas.</p>	<p>2.2 Contrastar la veracidad de la información sobre temas relacionados con los contenidos de la materia Biología y Geología utilizando fuentes fiables adoptando una actitud crítica y escéptica hacia informaciones sin una base científica como pseudociencias, teorías conspiratorias, creencias infundadas, bulos, etc., contribuyendo de esta manera a la consecución de una sociedad democrática y comprometida con los problemas éticos y de otra índole actuales afrontando la controversia moral con actitud dialogante, argumentativa, respetuosa y opuesta a cualquier tipo de discriminación o violencia.</p>	<p>CCL3, CD4, CPSAA4, CC3</p>
	<p>2.3 Valorar la contribución de la ciencia a la sociedad y la labor de las personas dedicadas a ella destacando el papel de la mujer y entendiendo la investigación como una labor colectiva e interdisciplinar en constante evolución, no dogmática e influida por el contexto político y los recursos económicos, que es totalmente necesaria para comprender los fenómenos naturales que nos rodean y que contribuye a la mejora ética, innovadora y sostenible de nuestra sociedad, no solamente en términos económicos, sino también en una dimensión cultural, social e incluso personal.</p>	<p>CC3, CE1</p>
<p>4. Utilizar el razonamiento, el pensamiento computacional y el pensamiento lógico formal, analizando críticamente las respuestas y soluciones obtenidas y reformulando el procedimiento, si fuera necesario, para resolver problemas o dar</p>	<p>4.1 Resolver problemas o dar explicación a procesos biológicos o geológicos utilizando con creatividad los conocimientos, datos e informaciones aportadas, el razonamiento lógico, el pensamiento computacional o los recursos digitales.</p>	<p>STEM1, STEM2, CD2, CD5, CE1, CE3, CCEC4</p>

explicación a procesos de la vida cotidiana relacionados con la biología y la geología.

5. Analizar los efectos de determinadas acciones sobre el medio ambiente y la salud, basándose en los fundamentos de las ciencias biológicas y de la Tierra, para promover y adoptar hábitos que eviten o minimicen los impactos medioambientales negativos, que sean compatibles con un desarrollo sostenible y que permitan mantener y mejorar la salud individual y colectiva.

5.3 Desarrollar un pensamiento propio, con espíritu crítico y moral frente a las implicaciones éticas de las técnicas de manipulación genética y sus repercusiones sobre la sociedad y el entorno natural, mostrando motivación hacia el aprendizaje para gestionar los nuevos retos científicos del futuro

CCL3, STEM2, CD4, CPSAA1, CC3, CE3

CC: Competencia ciudadana; CCEC: Competencia en Concienciación y Expresión Cultural; CCL: Competencia en Comunicación Lingüística; CD: Competencia Digital; CE: Competencia Emprendedora; CP: Competencia Plurilingüe; CPSAA: Competencia Personal, Social y de Aprender a Aprender; Competencia STEM: Competencia Matemática y Competencia en Ciencia, Tecnología e Ingeniería.

MAPA DE RELACIONES CRITERIALES		COMPETENCIAS CLAVE DESGLOSADAS EN DESCRIPTORES OPERATIVOS																																	
		Competencia en Comunicación Lingüística					Competencia Plurilingüe			Competencia Matemática y Competencia en Ciencia, Tecnología e Ingeniería					Competencia Digital			Competencia Personal, Social y de Aprender a Aprender			Competencia Ciudadana		Competencia Emprendedora			Competencia en Conciencia y Expresión Culturales									
Competencia Específica	Criterio de Evaluación	CCL1	CCL2	CCL3	CCL4	CCL5	CP1	CP2	CP3	STEM1	STEM2	STEM3	STEM4	STEM5	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CPSAA1	CPSAA2	CPSAA3	CPSAA4	CPSAA5	CC1	CC2	CC3	CC4	CE1	CE2	CE3	CCEC1	CCEC2	CCEC3	CCEC4
1	1.1.		1				1				1		1		1	1							1												
	1.2	1	1			1	1				1		1		1	1	1												1						
2	2.2		1	1			1				1		1		1	1	1	1	1				1				1								
	2.3														1												1		1						
4	4.1									1	1					1			1										1		1				1
5	5.3			1							1							1		1							1				1				
Vinculaciones por CC		7					3			9					14			3			3		5			1									
% Contribución por CC		15.6					6.7			20.0					31.1			6.7			6.7		11.1			2.2									

Figura 1. Mapa de relaciones criterios vinculando las Competencias Específicas y las Competencias Clave abordadas por la propuesta didáctica.

3.2 Implementación de la propuesta didáctica

3.2.1 Breve descripción de la propuesta didáctica

La propuesta didáctica ha consistido en la asignación de un tema de trabajo relacionado con la biotecnología a cada uno de los agrupamientos realizados. A pesar de que la idea inicial era contar con trece temas de trabajo diferentes, finalmente consideramos demasiado ambicioso gestionar las sesiones con trece agrupamientos (*i.e.*, trece temáticas diferentes), por lo que finalmente los temas se redujeron a ocho, cinco de los cuales (los considerados, *a priori*, un poco más complejos) se repitieron entre agrupamientos. Cada uno de estos temas abordaba una aplicación biotecnológica diferente, elegidas entre los diferentes campos de aplicación de la biotecnología que aparecen en el libro de texto utilizado (Biología y Geología 4, Serie Observa, Santillana): aplicaciones en medicina, aplicaciones en el medioambiente, aplicaciones en agricultura y ganadería (a las que se añadió la piscicultura). Para cada uno de los temas se seleccionaron uno o dos documentos procedentes de noticias o artículos de divulgación que contenían información relacionada con el tema, y se preparó una ficha de ejercicios a modo de guía para extraer la información más relevante. Esta ficha sirvió como base para cada grupo de trabajo a la hora de realizar las infografías. Así, la propuesta se ha desarrollado en un total de cuatro sesiones: 1) introducción de conceptos básicos y reparto de los temas; 2) y 3) sesión de trabajo grupal en el aula y 4) presentación de las infografías.

3.2.2 Metodología

3.2.2.1 Muestra poblacional

La propuesta didáctica se desarrolló durante el transcurso de las prácticas del Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria, en un Centro de la ciudad de Burgos cuyo nombre no puede proporcionarse debido a la Ley de protección de datos. La propuesta didáctica se llevó a cabo durante las sesiones de la materia Biología y Geología en una clase de 4º ESO integrada por un total de 26 alumnos (18 chicos y 8 chicas), ninguno de ellos con necesidades específicas de apoyo educativo.

3.2.2.2 Evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología

Se ha realizado con la finalidad de conocer 1) si el alumnado ha adquirido los conocimientos sobre diferentes aplicaciones biotecnológicas abordadas y 2) la opinión que suscitan en el alumnado diferentes aplicaciones de la biotecnología. Para ello, se realizó un breve cuestionario

anónimo de quince preguntas (*Anexo I*): seis de ellas (*preguntas 1-6*) sobre conocimientos de biotecnología relacionados con las temáticas trabajadas y nueve de ellas (*preguntas 7-15*) sobre actitudes frente a determinados aspectos de la biotecnología, basadas y adaptadas de una encuesta validada para evaluar la actitud de los estudiantes hacia la biotecnología (Erdogan et al., 2009). Todos los ítems del cuestionario se basan en una escala Likert del 1 (Muy en desacuerdo) al 5 (Muy de acuerdo), excepto la pregunta 15, que es una pregunta multirrespuesta sobre las diferentes aplicaciones de la biotecnología.

El planteamiento inicial contemplaba realizar un cuestionario inicial (cuestionario previo) a la implantación de la propuesta a modo de evaluación inicial diagnóstica, y tras la finalización de la misma (cuestionario posterior), con el fin de evaluar si se habían producido cambios en los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología. Sin embargo, por diversos motivos, el cuestionario no pudo realizarse antes de la implantación de la propuesta, sino tras la tercera sesión de la misma: esto es, cuando ya se habían impartido conceptos básicos de biotecnología y el alumnado había trabajado durante dos sesiones sobre su propia temática biotecnológica, pero antes de realizar las exposiciones.

Por ello, la evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología no refleja el efecto de la totalidad de la propuesta didáctica, sino únicamente de la sesión de exposiciones en sí. A pesar de ello, los resultados obtenidos en el cuestionario posterior constituyen una herramienta útil para conocer el nivel de conocimientos y las actitudes del alumnado hacia la biotecnología al finalizar la propuesta.

3.2.2.3 Evaluación de la implantación de la propuesta didáctica

La evaluación de la implantación de la propuesta didáctica se llevó a cabo mediante la realización de un cuestionario anónimo de satisfacción del alumnado, el cual fue utilizado como una herramienta efectiva para obtener retroalimentación directa de los estudiantes y evaluar su percepción y grado de satisfacción con respecto a la propuesta implementada. Dicho cuestionario se realizó a la vez que el cuestionario de evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia biotecnología posterior a la realización de la propuesta didáctica. El cuestionario consta de cinco preguntas sobre la propuesta didáctica, así como una pregunta abierta opcional donde se proporcionaba la oportunidad de expresar sus opiniones, comentarios y/o propuestas de mejora (*Anexo II*).

Ambos cuestionarios, el de evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia biotecnología y el de satisfacción, se realizaron mediante la herramienta *Google Forms* y fueron

distribuidos por la tutora de prácticas al alumnado a través de la plataforma educativa del Centro *Google Classroom*. Se obtuvieron un total de $n = 26$ respuestas en el cuestionario de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología previo a la presentación, y $n = 23$ en el cuestionario de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología posterior a la presentación y de satisfacción.

3.2.1.4 Análisis de datos y representación de gráficos

La curación de datos se ha realizado con *Microsoft Excel* (365, Microsoft Corporation). El análisis de los datos y su representación gráfica de los datos se ha realizado con *Graphpad Prism* (v7.00, Graphpad Software Inc.).

3.2.3. Objetivos de la propuesta didáctica

Los principales objetivos de la propuesta didáctica son:

1. Promover el aprendizaje significativo en los estudiantes mediante la aplicación de conceptos y principios de la biotecnología en situaciones reales y cercanas a su entorno.
2. Desarrollar habilidades científicas tales como la capacidad de análisis y el razonamiento crítico a través de la resolución de problemas y la toma de decisiones relacionadas con la biotecnología.
3. Fomentar el interés y la motivación de los estudiantes por la biotecnología mediante el uso de metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos y la participación en debates y discusiones científicas, y las TIC.
4. Promover la alfabetización científica y ética, brindando a los estudiantes las herramientas necesarias para comprender y evaluar las controversias sociocientíficas relacionadas con la biotecnología.
5. Proporcionar un espacio de reflexión y debate sobre las implicaciones sociales, éticas y ambientales de la biotecnología, fomentando el desarrollo de una ciudadanía informada y participativa.

3.2.4. Contexto

La propuesta didáctica se enmarca dentro de la intervención de aula realizada durante el transcurso de las prácticas, concretamente dentro de la unidad didáctica "La información y la manipulación genética" de la materia Biología y Geología, de 4º curso, cuyos contenidos principales incluyen la estructura y función de los ácidos nucleicos, la replicación del material genético, la expresión génica, las mutaciones y, finalmente, un bloque de biotecnología e

ingeniería genética. Es en el contexto de este último bloque donde se enmarca el presente trabajo, aunque cabe recalcar que antes de la realización de la propuesta se habían impartido a lo largo de dos semanas los contenidos previos de la unidad.

3.3.5 Temporalización y actividades

La propuesta didáctica se desarrolló en un total de cuatro sesiones de 55 minutos, distribuidas a lo largo de dos semanas. Las actividades que se desarrollaron en cada sesión se recogen en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Temporalización de las actividades de la propuesta didáctica

Sesión	Semana	Actividades
1	1	<ul style="list-style-type: none"> - Reparto de temas a cada grupo de trabajo mediante sorteo (papeletas) - Explicación de conceptos básicos para la realización del trabajo: biotecnología, ingeniería genética y principales técnicas de la ingeniería genética. - Explicación de un ejemplo concreto: producción de insulina en bacterias frente a la extracción tradicional de páncreas de cerdo.
2	1	<ul style="list-style-type: none"> - Trabajo autónomo donde cada grupo de trabajo debe rellenar una ficha de ejercicios sobre el tema asignado. - La docente resuelve dudas. - Al final de la sesión se recogen las fichas de trabajo con el fin de evaluar el nivel de comprensión del tema asignado a cada grupo. <p>Trabajo fuera del aula: la docente se sirve de la ficha de trabajo con el fin de identificar errores y dudas comunes.</p>
3	1	<ul style="list-style-type: none"> - Breve explicación al inicio de la sesión con el fin de abordar las dudas más comunes. - Se reparten las fichas con correcciones, anotaciones y/o sugerencias y los grupos de trabajo continúan trabajando como en la sesión anterior. - Explicación de la realización de las infografías: se explican los requisitos y se presenta un ejemplo de infografía elaborada por la docente en prácticas. <p>Trabajo fuera del aula: los estudiantes preparan la infografía sobre el tema asignado.</p>
4	2	<ul style="list-style-type: none"> - Presentación de las infografías. Cada grupo de trabajo presenta la infografía realizada y se debate brevemente sobre ellas.

3.3.6 Espacios y agrupamientos

Todas las sesiones se desarrollaron en el aula. La propuesta didáctica se realizó mayoritariamente por parejas, exceptuando dos grupos de trabajo que, por decisión consensuada del alumnado y la tutora de prácticas, se establecieron formando un grupo de 3 personas y un grupo de 1 persona. De esta forma, los 26 alumnos quedaron repartidos en un total de 13 agrupamientos: 11 parejas, un grupo de 3 y un grupo individual. A aquellos grupos con temáticas repetidas (que correspondían a aquellos temas considerados más complejos) se les dio la posibilidad de colaborar para la resolución de dudas.

3.3.7 Elaboración de recursos y materiales

Para la implementación de la propuesta didáctica se utilizaron diferentes recursos y materiales, los cuales se encuentran recogidos por sesiones en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Recursos y materiales utilizados en la propuesta, desglosados por sesiones.

Sesión	Recursos
1. Reparto de temas, explicación de conceptos básicos	Libro de texto de la materia. Tarjetas para el reparto de temas. Materiales varios: cuerda, tijeras, pelota de tenis, etc. para ejemplificar diferentes técnicas de ingeniería genética.
2. Trabajo grupal (I)	Ordenadores del Centro. Noticias y artículos asignados para cada tema. Fichas de trabajo para cada tema.
3. Trabajo grupal (II)	Presentación <i>Genial.ly</i> . Presentación de explicación de la infografía.
4. Presentación de las infografías	Infografías elaboradas por el alumnado.

A continuación, se describen con más detalle los recursos de elaboración propia.

- *Noticias y artículos seleccionados para cada tema*

Para la propuesta didáctica se seleccionaron un total de ocho temas que aborasen diferentes aplicaciones de la biotecnología contempladas en el libro de texto del alumnado: medicina (terapia génica y obtención de fármacos), medioambiente, agricultura y ganadería (apartado al que se añadió, también, la piscicultura). La selección de temas se realizó mediante una búsqueda de noticias y artículos en diferentes páginas webs de periódicos, blogs de divulgación, etc. Los requisitos para la búsqueda de noticias fueron:

- Que las aplicaciones biotecnológicas siguieran un esquema general común: organismos a los que se les había insertado un gen (bien de otra especie o bien de la misma) con el fin de introducir una característica deseable.
- Que las aplicaciones biotecnológicas tuvieran un nivel de dificultad semejante. Dada la dificultad a la hora de encontrar aplicaciones que fueran diferentes, pero, a su vez, con un nivel de dificultad similar, los temas que se consideraron más complejos se repitieron con la finalidad de otorgar la posibilidad de colaborar entre grupos.
- Que las fuentes de información fueran fiables, con el fin de garantizar la veracidad de la información y el rigor científico.
- Que las noticias o artículos seleccionados tuvieran la información necesaria para que los alumnos pudieran completar la ficha de trabajo. En algunos casos se realizaron

algunas modificaciones en el texto original para poder añadir alguna información puntual, adaptándolos al contexto del alumnado.

Así, las aplicaciones biotecnológicas seleccionadas, junto con una breve descripción y el enlace de las noticias y artículos utilizados quedan recogidas en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Temas de aplicaciones biotecnológicas con enlace a la noticia o artículo seleccionados.

Tema y enlace	Aplicación	Breve descripción	Fuente	¿Modificado?
<u>Hemgenix</u> ¹	Medicina	Terapia génica para la Hemofilia B	La Vanguardia	Sí
<u>Atryn</u> ^{1,2}	Medicina	Producción de antitrombina en cabras	Naukas	Sí
<u>Kanuma</u> ^{1,2}	Medicina	Producción de sebelipasa alfa en gallinas	Naukas	Sí
<u>Árboles TNT</u>	Medioambiental	Árboles que eliminan TNT de aguas y suelos	Agencia SINC	No
<u>Maíz Bt</u>	Agricultura	Maíz resistente ante la plaga del insecto taladro	Fundación Antama	Sí
<u>Arroz dorado</u>	Agricultura	Arroz rico en β -caroteno	MasScience	No
<u>Tomate vitamina C</u> ¹	Agricultura	Tomate rico en vitamina C	Agencia SINC	No
<u>Salmón aquAdvantage</u> ¹	Piscicultura	Salmón con crecimiento más rápido	Naukas	Sí

¹: Temas repetidos; ²: Para estos temas se utilizó el mismo artículo.

- **Fichas de trabajo para cada tema**

Se prepararon fichas de trabajo a modo de guía para pautar la extracción de información más relevante para la elaboración de la infografía. Estas fichas eran específicas y adaptadas a cada aplicación biotecnológica, pero seguían un esquema general, abordando:

- Una descripción de la aplicación biotecnológica.
- El gen o genes involucrados y su función.
- La elaboración de un esquema del proceso seguido para la consecución de la aplicación. En las aplicaciones más complejas, estos esquemas eran facilitados mediante preguntas y/o ejemplos.
- Ventajas y desventajas de la aplicación o la técnica en sí.
- Pregunta creativa donde cada estudiante debía proponer una aplicación biotecnológica que realizarían si fueran expertos en ingeniería genética.

En el *Anexo III* se incluyen, a modo de ejemplo, las fichas utilizadas para dos aplicaciones: *ATryn* y salmones *aquAdvantage*. Esta última ilustra un ejemplo de aplicación compleja cuyo esquema del proceso ha sido facilitado mediante una pregunta.

- ***Presentación de explicación de la infografía***

De cara a la elaboración de la infografía, se preparó una breve presentación (*Anexo IV*), que contenía:

- 1) Los requisitos básicos y los elementos que debía contener la infografía.
- 2) La rúbrica que se ha utilizado para elaborar la infografía.
- 3) Un ejemplo de infografía elaborado por la docente que presentaba una aplicación biotecnológica concreta (Peces *GloFish*®).

- ***Presentación Genial.ly***

La idea inicial de la propuesta era utilizar la plataforma *Genial.ly* a modo de interfaz interactiva y atractiva para ofrecer los textos y otras informaciones relevantes al alumnado. A través de ella e interactuando con diferentes elementos se enlazaba a una carpeta de *Google Drive* que contenía la noticia o artículo en PDF. Con ello, se pretendía solventar posibles problemas a la hora de acceder a las noticias (publicidad, suscripciones, etc.), a la vez que nos ofrecía la posibilidad de realizar algunas modificaciones en los textos.

Para ello, se diseñó una presentación que emula un Centro de Investigación Biotecnológica (*Figura 2*), desde el que se accede a diferentes laboratorios correspondientes a las áreas de las diferentes aplicaciones biotecnológicas (*Figura 3*). En cada uno de estos laboratorios (*Figuras 4, 5 y 6*) encontramos diferentes elementos interactivos que enlazan no sólo a las noticias y artículos de la *Tabla 6*, sino a otras páginas de temas variados tales como artículos de opinión sobre alimentos transgénicos, terapia génica, etc.

A pesar de que, como se ha comentado anteriormente, la plataforma no pudo utilizarse por problemas de accesibilidad entre la cuenta *Google* personal de la docente y las cuentas institucionales *Google* del alumnado, creemos que esta plataforma constituye un muy buen recurso para recoger toda la información necesaria sobre las diferentes aplicaciones —y otras informaciones que consideremos relevantes— en un mismo repositorio virtual.



Figura 2. Captura de pantalla de la presentación Genial.ly: entrada al Centro de Investigación Biotecnológica.



Figura 3. Captura de pantalla de la presentación Genial.ly: pasillo de los laboratorios de las diferentes áreas de Biotecnología



Figura 4. Captura de pantalla de la presentación Genial.ly: laboratorio de Medicina. Ejemplo de elemento interactivo.

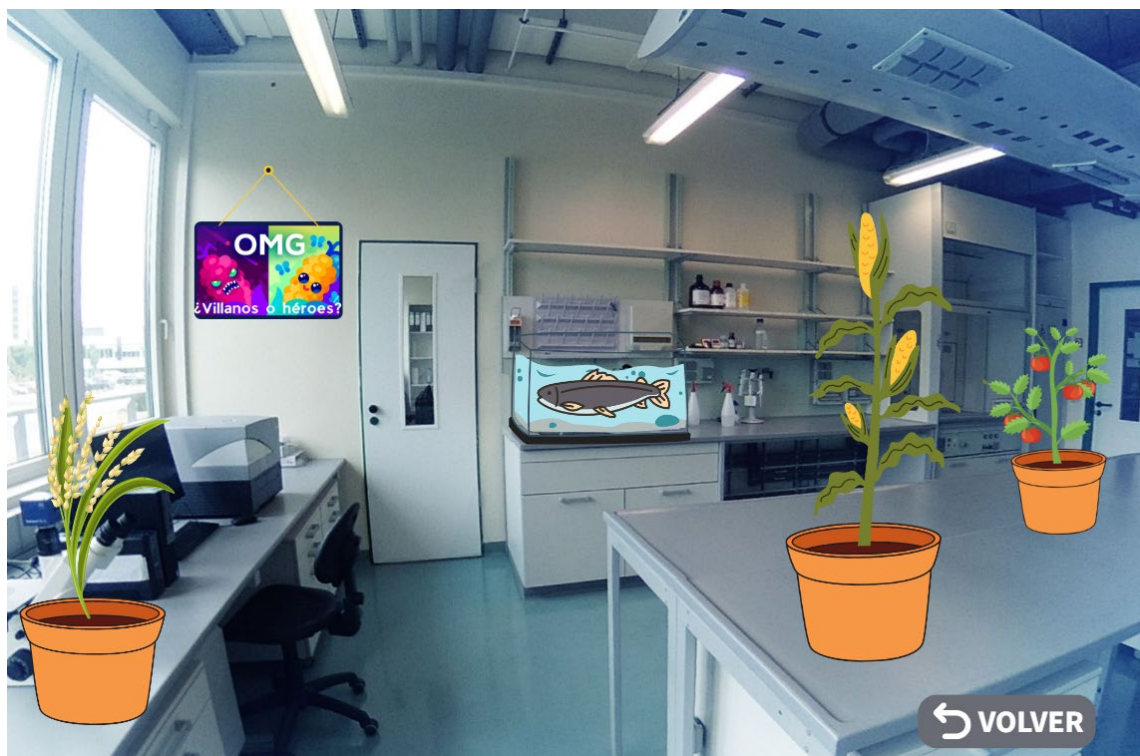


Figura 5. Captura de pantalla de la presentación Genial.ly: laboratorio de Agricultura, Ganadería y Piscicultura. Además de enlazar a las noticias y artículos correspondientes mediante las diferentes plantas y el salmón, el cuadro de la esquina superior izquierda ("OMG: ¿Villanos o héroes?") enlaza a un artículo de la Junta de Andalucía con información sobre los OMGs.



Figura 6. Captura de pantalla de la presentación Genial.ly: laboratorio de Medioambiente. Cada uno de los elementos interactivos contiene información sobre la aplicación biotecnológica.

3.3.8 Atención a la diversidad

Según el artículo 27 del Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León, se entiende por diferencias individuales en el alumnado no únicamente a aquellas que radican en necesidades específicas de apoyo educativo, sino al "conjunto de diferencias individuales referentes a la capacidad, ritmo de aprendizaje, estilo de aprendizaje, motivación, intereses, contexto social, situación cultural, circunstancia lingüística o estado de salud", entre otras.

A la hora de abordar la atención a la diversidad en la propuesta, se han contemplado diferentes aspectos:

- Las explicaciones de conocimientos básicos se han realizado utilizando diferentes recursos: libro de texto y presentaciones, así como materiales varios que han permitido ilustrar los procesos de ingeniería genética. Estos aspectos son considerados complejos y difíciles de entender por los estudiantes, por lo que se ha sugerido que el uso de materiales visuales puede ayudar en su comprensión (Çimer, 2012).
- Los agrupamientos de aula se han realizado con la finalidad de estimular la cooperación y el trabajo en equipo. Se han considerado los agrupamientos en pareja como adecuados

para la naturaleza y dificultad de la propuesta; sin embargo, aquellas parejas que han tenido temas repetidos han tenido la oportunidad de colaborar entre sí en pequeños grupos para esclarecer dudas debido a la complejidad de sus temas.

- La inclusión de infografías como producto final en la propuesta didáctica no solo tiene como objetivo transmitir información de manera visual y atractiva, sino que también atiende a la diversidad al involucrar a estudiantes con diferentes habilidades y preferencias. Para aquellos estudiantes a quienes les gusta el diseño y son más creativos, las infografías les brindan la oportunidad de expresar su creatividad y estilo personal, permitiéndoles mostrar la información de una manera visualmente impactante. Al mismo tiempo, la realización de la infografía requiere rigor científico y capacidad de síntesis para garantizar la corrección de la información presentada.
- Además, la flexibilidad curricular en cuanto a los contenidos en sí y la amplitud de aplicaciones en un área tan extensa como la biotecnología permite adaptar la propuesta en función de la necesidad de disponer de contenidos de refuerzo y/o ampliación; un aspecto que no ha sido necesario en la implantación de la propuesta didáctica dada las características del grupo.

3.3.9 Evaluación del alumnado

A lo largo de la implantación de la propuesta didáctica, a pesar de su brevedad, se ha pretendido llevar a cabo una evaluación:

- Continua. La evaluación se ha llevado a cabo a lo largo de toda la propuesta didáctica: a través de las fichas de trabajo de las sesiones 2 y 3, a través de la evaluación de la infografía y a través de la evaluación de la presentación y las intervenciones de la sesión 4.
- Formativa. A través de la retroalimentación y la resolución de consultas durante las diferentes sesiones; por ejemplo, mediante la corrección e identificación de errores entre las sesiones de ordenador 1 y 2.
- Integradora. Enfocada a la consecución global de los objetivos de etapa y las competencias plasmadas en el apartado *3.1.2 Concreción curricular*.

Así mismo, se han establecido varios instrumentos de evaluación para los diferentes productos evaluables de la propuesta, plasmados en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Evaluación formativa: relación entre los productos evaluables, los instrumentos de evaluación y su peso en la calificación final.

Productos evaluables	Instrumentos de evaluación	Peso en la calificación
Trabajo en el aula	Observación en el aula Adecuación de las respuestas	10 %
Ficha de trabajo	Compleción y adecuación de las respuestas	10 %
Infografía	Rúbrica para la evaluación de la infografía (Anexo IV) ¹	60 %
Presentación y defensa de la infografía	Rúbrica para la evaluación de la presentación (Anexo V) Observación de aportaciones orales durante la defensa y el debate	20 %

¹: La rúbrica para la evaluación de la infografía se encuentra incluida en la presentación del Anexo IV.

4. Resultados

A continuación, se detallan los resultados obtenidos tras la implementación de la propuesta. Dichos resultados se han dividido en dos apartados: un primer apartado donde se analiza la evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología, y un segundo apartado donde se detalla la evaluación de la implantación de la propuesta realizada por el alumnado.

4.1 Evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología

Los resultados de la evaluación de conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología se han subdividido, a su vez, en un primer análisis comparativo entre el cuestionario inicial y el cuestionario final y, dadas las limitaciones del mismo, en un segundo análisis donde se evalúan únicamente los resultados obtenidos tras la propuesta.

4.1.1 Análisis comparativo entre el cuestionario previo y el cuestionario posterior

Durante el transcurso de la propuesta didáctica se quiso evaluar si la realización de la misma tenía algún impacto sobre los conocimientos de las aplicaciones biotecnológicas trabajadas y la percepción del alumnado hacia la biotecnología. Para ello, se quiso realizar un cuestionario tipo Likert con preguntas sobre diferentes aspectos de la biotecnología tanto antes como después de realizar la propuesta; no obstante, el cuestionario previo no se pudo realizar al comienzo de la misma, sino que tuvo lugar entre la 3ª sesión (2ª sesión de trabajo autónomo por grupos) y la 4ª sesión (presentación de las infografías). Esto, junto con el hecho de que en ambos cuestionarios

el número de participantes ha sido diferente (26 alumnos en el cuestionario previo y 23 en el posterior), añade ciertas limitaciones que deben tomarse en consideración a la hora de interpretar los resultados.

Con la finalidad de obtener una visión general de si, a raíz de la realización de la sesión de las presentaciones de la infografía, se han producido cambios significativos en los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología, se presenta un análisis comparativo de las respuestas obtenidas (recogidas en la *tabla 8*) en las preguntas 1-14 del cuestionario previo a la sesión de presentaciones y el cuestionario posterior (*Figura 7*). A pesar de que en el análisis podemos observar pequeños cambios de tendencia en alguna de las respuestas, a nivel general, no parece que se hayan producido modificaciones significativas tras la sesión de exposiciones.

Tabla 8. Número de respuestas obtenidas en cada una de las preguntas del cuestionario previo y posterior.

Pregunta:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Previo (n = 26)	Muy en desacuerdo (1)	0	1	0	0	4	7	3	1	0	3	3	0	0	0
	En desacuerdo (2)	0	8	4	1	8	5	6	4	2	6	4	1	1	1
	Indiferente (3)	3	4	6	2	9	5	9	10	6	9	5	4	3	4
	De acuerdo (4)	13	9	7	10	4	8	4	7	8	5	9	12	10	6
	Muy de acuerdo (5)	10	4	9	13	1	1	4	4	10	3	5	9	12	15
Posterior (n = 23)	Muy en desacuerdo (1)	0	1	0	0	6	9	1	1	0	3	3	1	0	0
	En desacuerdo (2)	0	3	1	0	6	5	2	4	2	4	3	1	0	0
	Indiferente (3)	0	7	4	2	8	6	9	7	3	8	8	4	1	2
	De acuerdo (4)	11	4	10	7	3	2	6	5	11	4	7	10	9	4
	Muy de acuerdo (5)	12	8	8	14	0	1	5	6	7	4	2	7	13	17

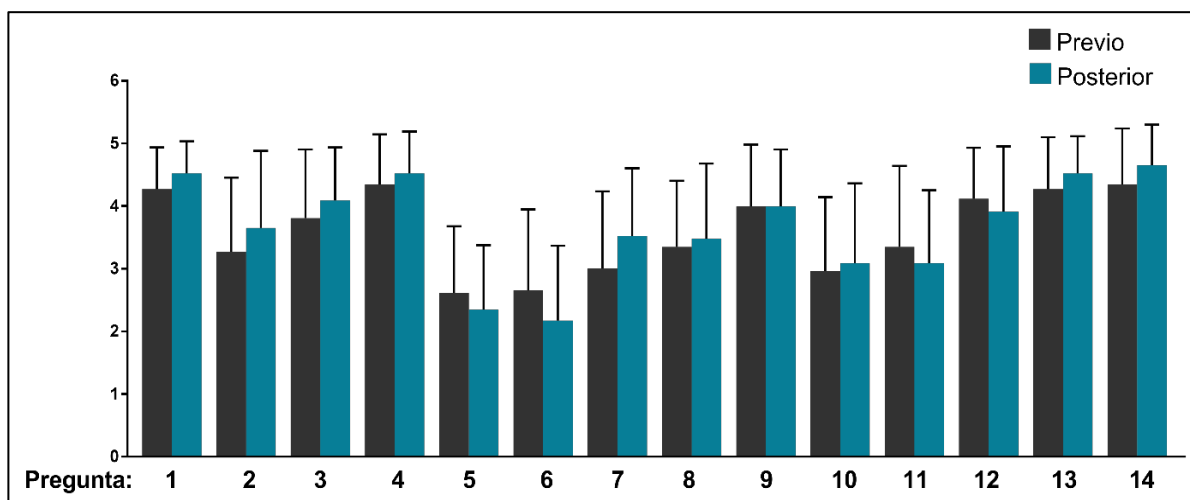


Figura 7. Gráfico de barras representando la media \pm desviación estándar de las respuestas obtenidas en el cuestionario previo (gris oscuro) y posterior (azul) en las preguntas 1-14.

Puesto que la representación de las medias proporciona un valor promedio de las respuestas en el cuestionario tipo Likert, se decidió representar los histogramas de cada pregunta en el cuestionario previo y posterior con el fin de realizar una exploración más profunda de los resultados (*Figuras 8, 9 y 10*). De esta forma, se ha pretendido visualizar la frecuencia de selección de cada opción de respuesta en cada pregunta, lo cual brinda una perspectiva más detallada sobre los patrones de respuesta de los participantes, permitiendo identificar posibles agrupaciones o tendencias en las preferencias y opiniones de los alumnos.

Si bien es cierto que, en general, los histogramas de ambos cuestionarios presentan una distribución de frecuencias muy similares, en ocasiones se observan cambios de tendencia en las distribuciones; específicamente, cabe destacar como se observan modificaciones en la distribución de las respuestas a algunos aspectos que se mencionaron específicamente durante las presentaciones. Por ejemplo, en la *pregunta 3 (Figura 8)* "Es posible modificar el ADN de una persona para tratar una enfermedad", cuestión que se abordó específicamente al presentar el tema *Hemgenix* (una novedosa terapia génica para el tratamiento de la hemofilia tipo B), podemos observar como la frecuencia de distribución se ha desplazado hacia las respuestas "De acuerdo" y "Muy de acuerdo". Una tendencia similar se observa en la *pregunta 6 (Figura 8)* "Los alimentos transgénicos son peligrosos porque pueden modificar el ADN de la persona que los consume", un aspecto que se mencionó específicamente a la hora de hablar sobre algunos de los argumentos utilizados en contra de los alimentos transgénicos.

En cuanto a los usos de la biotecnología mencionados en la *pregunta 15 (Figura 10)*, se observa un aumento en la aceptación de la aplicación de la biotecnología para causas medioambientales —un dato curioso, si tenemos en cuenta que esta aplicación no llegó a exponerse puesto que el alumnado responsable de ello no entregó la infografía a tiempo—; y un ligero incremento en la creación de plantas más resistentes. En contraposición, se puede observar una disminución en la creación de alimentos con mejores propiedades, la mejora de la producción ganadera y la mejora de seres humanos. Este último tema fue abordado específicamente durante las exposiciones, debatiendo brevemente sobre las implicaciones bioéticas de la manipulación genética de humanos y su aceptabilidad en función del fin con el que se realiza.

Estas evidencias recalcan la importancia que puede tener la sesión de exposiciones a la hora de explicar conceptos, corregir errores conceptuales y abordar diversos aspectos bioéticos y argumentaciones carentes de base científica desde una perspectiva crítica.

A pesar de que los resultados obtenidos en la comparación del cuestionario previo y posterior deben interpretarse con precaución dadas las limitaciones muestrales y metodológicas, las cuales no permiten evaluar el efecto de la propuesta en su totalidad, es importante resaltar que el mero hecho de enfrentar al alumnado a estas controversias resulta crucial, ya que les permite plantearse cuestiones importantes y reflexionar sobre diversos aspectos relacionados con la biotecnología.

El hecho de que no se observen diferencias significativas en las medias generales entre los cuestionarios previos y posteriores no implica que el ejercicio de reflexión y confrontación de ideas no haya sido relevante, puesto que pequeños cambios de tendencia en las respuestas pueden indicar que los alumnos han adquirido una mayor comprensión sobre ciertos aspectos o han reflexionado más profundamente sobre determinados temas.

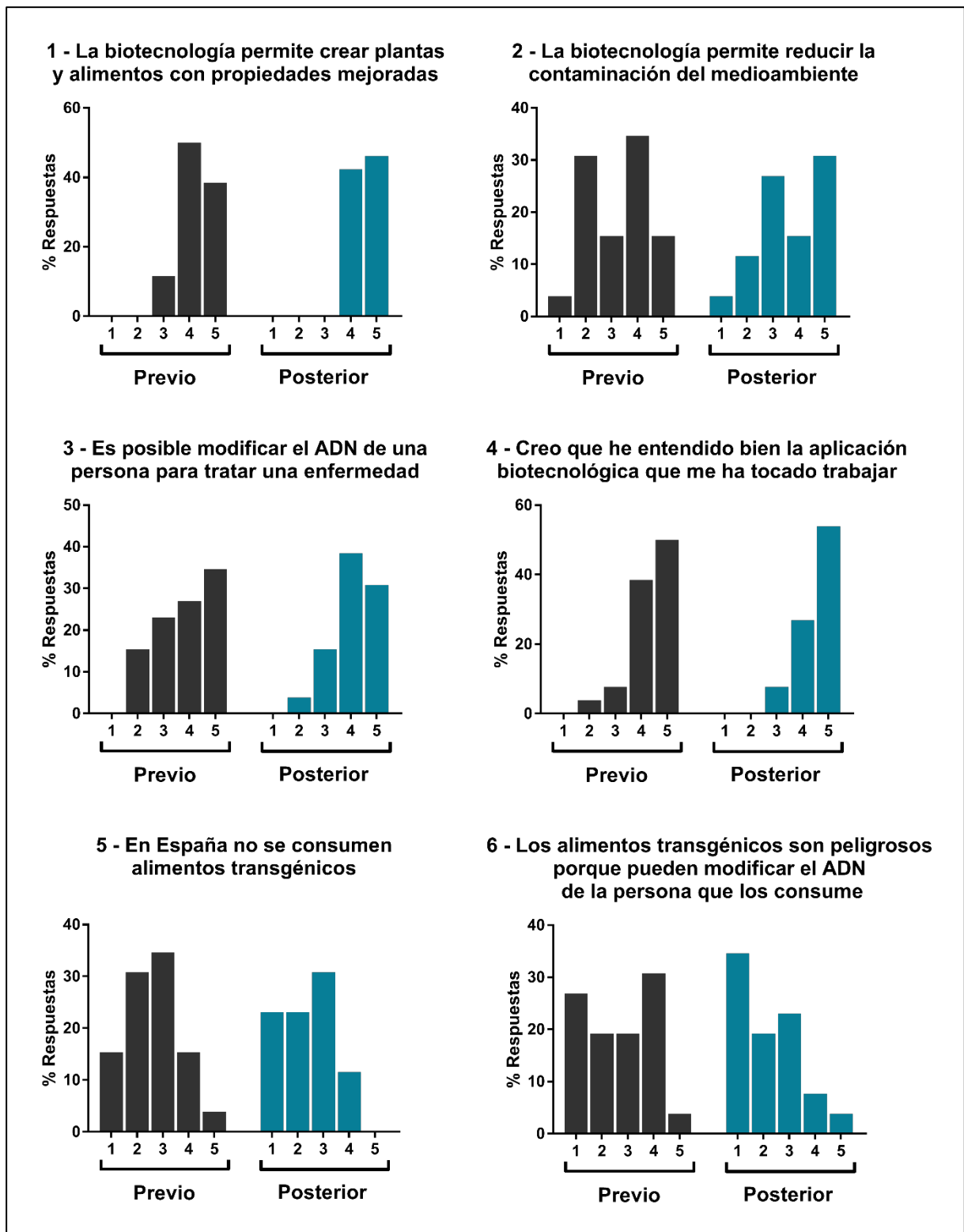


Figura 8. Histogramas representando la distribución de frecuencias (en porcentajes) de las respuestas obtenidas en el cuestionario previo (gris oscuro) y posterior (azul) en las preguntas 1-6.

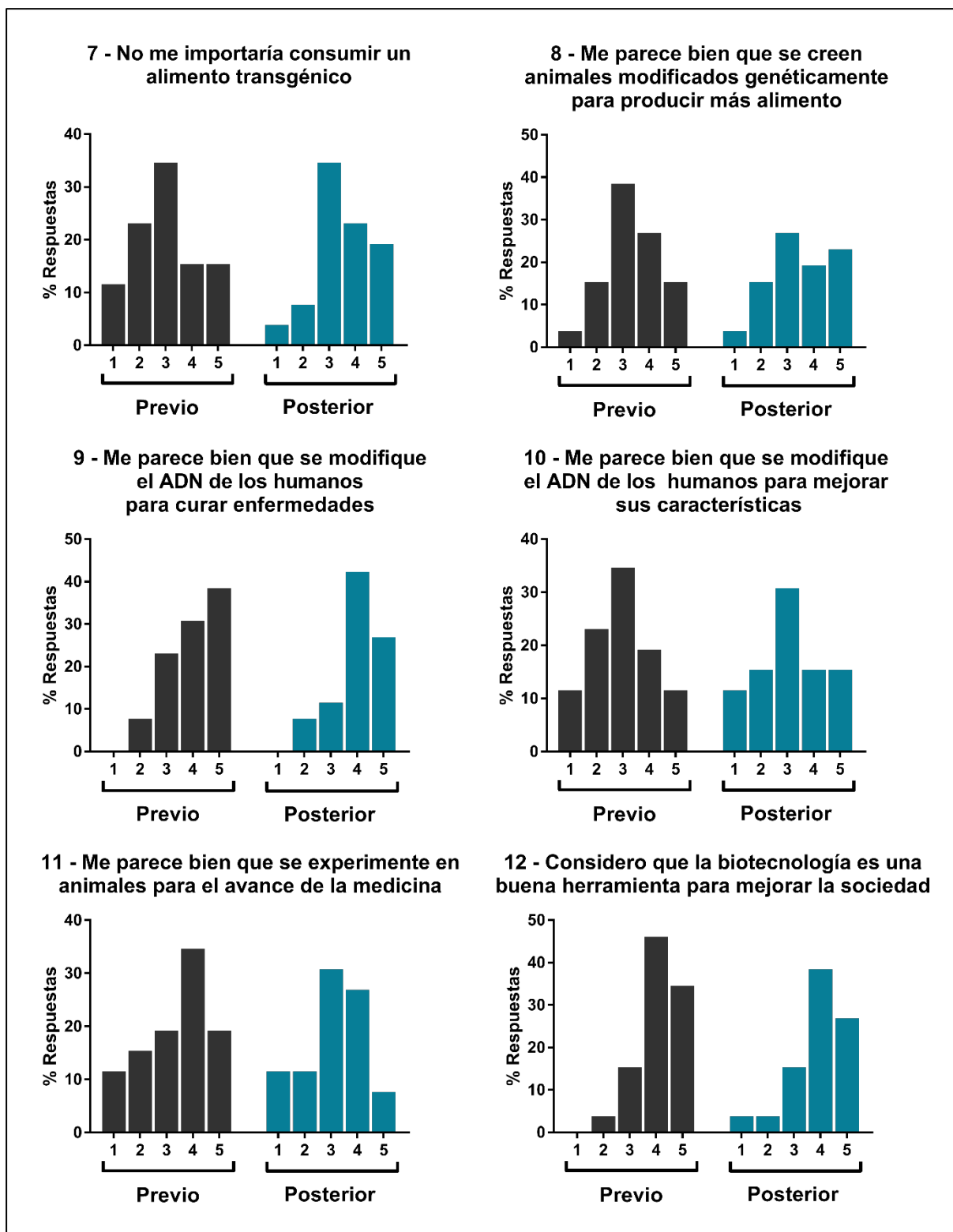


Figura 9. Histogramas representando la distribución de frecuencias (en porcentajes) de las respuestas obtenidas en el cuestionario previo (gris oscuro) y posterior (azul) en las preguntas 7-12.

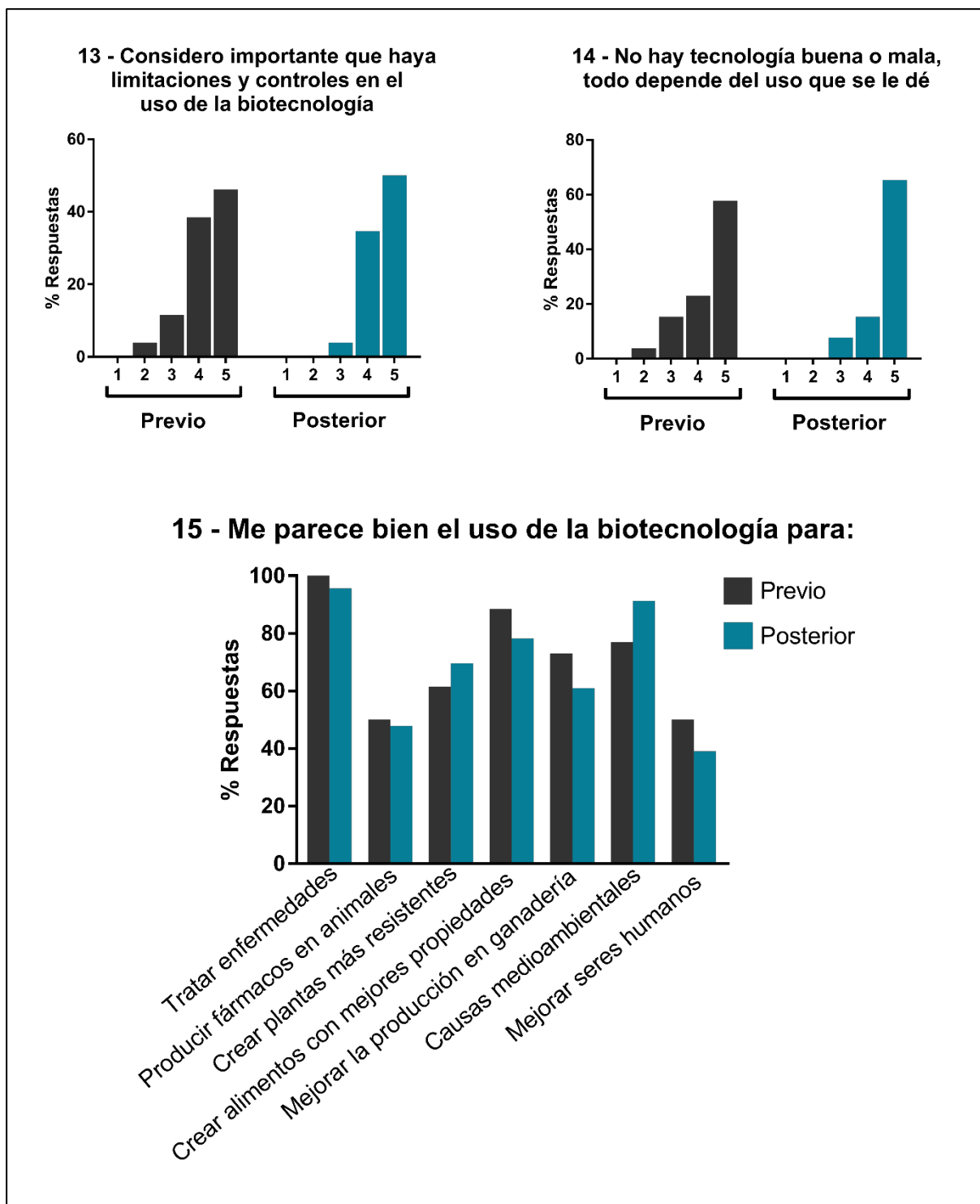


Figura 10. Histogramas representando la distribución de frecuencias (en porcentajes) de las respuestas obtenidas en el cuestionario previo (gris oscuro) y posterior (azul) en las preguntas 13-15

4.1.2 Análisis de los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología tras la propuesta

A pesar de las limitaciones que presenta el análisis comparativo entre ambos cuestionarios, los datos aportados por el cuestionario posterior nos aportan información sobre el nivel de

conocimientos del alumnado tras la propuesta y la percepción del mismo frente a varios aspectos controvertidos de la biotecnología. En la *Figura 11* podemos ver representadas las medias de las respuestas obtenidas en las *preguntas 1-14*, mostrando en color gris oscuro aquellas preguntas relacionadas con conocimientos y, en azul, con actitudes.

En cuanto al nivel de conocimientos, podemos observar cómo los resultados obtenidos tienden a la corrección de las respuestas: el alumnado es consciente en gran medida de que la biotecnología permite crear plantas y alimentos con propiedades mejoradas (*pregunta 1*), y que es posible modificar el ADN de una persona para tratar una enfermedad (*pregunta 3*). También es consciente, en menor grado, de que la biotecnología permite reducir la contaminación del medioambiente (*pregunta 2*), una aplicación que se incluía dentro de los temas de trabajo pero que, sin embargo, no pudo exponerse. Estos datos revelan que los estudiantes, aunque en menor medida, también son conocedores de que en España se consumen alimentos transgénicos (*pregunta 5*), y que el consumo de dichos alimentos no conlleva la modificación del ADN de la persona que lo consume (*pregunta 6*). Además, a modo de autoevaluación, el alumnado ha respondido de forma favorable preguntarle si ha entendido la aplicación biotecnológica que le ha tocado trabajar (*pregunta 4*).

Respecto a las actitudes frente a las diferentes aplicaciones, existe un consenso prácticamente unánime sobre la necesidad de que existan limitaciones y controles en el uso de la biotecnología (*pregunta 13*) y de que no existen tecnologías buenas o malas *per se*, sino que la importancia radica en la naturaleza de su aplicación (*pregunta 14*). También, aunque en menor grado, la tendencia de las respuestas del alumnado es hacia una valoración positiva de la biotecnología como herramienta para mejorar la sociedad (*pregunta 12*), aunque también existe una pequeña

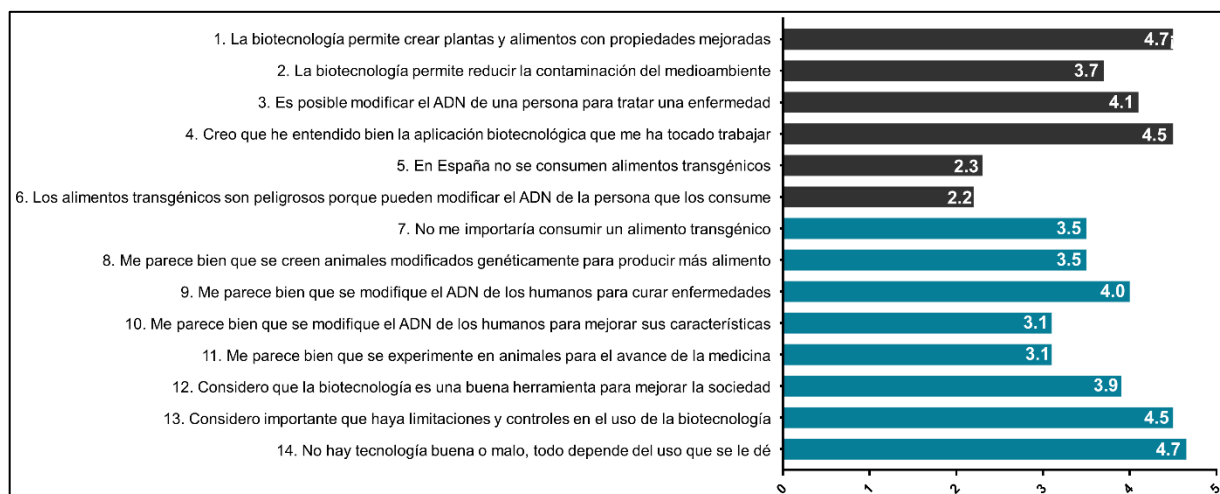


Figura 11. Gráfico de barras representando la media de las respuestas obtenidas a las preguntas 1-14 en el cuestionario posterior sobre conocimientos (gris oscuro) y actitudes (azul) hacia la biotecnología (n = 23).

fracción del alumnado que se muestra en desacuerdo. En cuanto a las diferentes aplicaciones, existe una mayor disparidad en las respuestas del alumnado, siendo la terapia génica (*pregunta 9*) la que genera una valoración más positiva.

Si analizamos individualmente los histogramas de las preguntas restantes (*preguntas 7, 8, 10 y 11*) observamos cómo predominan aquellas respuestas con una valoración de 3, lo cual puede indicar o bien una postura intermedia o la falta de una opinión clara sobre el tema en cuestión, ya sea por indecisión, falta de conocimiento o una actitud moderada al respecto. A pesar de la predominancia de estos valores intermedios, podemos observar una marcada tendencia del alumnado hacia una opinión favorable en la ingesta de alimentos transgénicos (*pregunta 7*, tres respuestas en desacuerdo frente a once de acuerdo), y en la modificación genética de animales para incrementar la producción ganadera (*pregunta 8*, cinco respuestas en desacuerdo frente a once de acuerdo). Curiosamente, a pesar de mantener esta inclinación hacia una actitud favorable, la tendencia se atenúa a la hora de considerar el uso de animales para experimentación biomédica (*pregunta 11*, seis respuestas en desacuerdo frente a nueve de acuerdo). Respecto a estas preguntas, cabe destacar que la cuestión que más polarización ha generado entre las opiniones del alumnado es la modificación del ADN humano con la finalidad de mejorar sus características (*pregunta 10*, siete respuestas en desacuerdo frente a ocho de acuerdo).

Para finalizar, si observamos el porcentaje de aprobación de las diferentes aplicaciones biotecnológicas planteadas en la *pregunta 15* (*Figura 12*), podemos comprobar que aquellas que presentan una mayor tasa de aceptación son aquellas destinadas al tratamiento de enfermedades (95,7 %) y causas medioambientales (91,3 %). Seguidamente, encontramos que el alumnado presenta una buena actitud del uso de la biotecnología con el fin de crear alimentos con propiedades mejoradas (78,3 %) y plantas más resistentes (69,6 %). Cuando examinamos aquellas aplicaciones que conllevan la utilización de animales, observamos que, de forma similar a los resultados

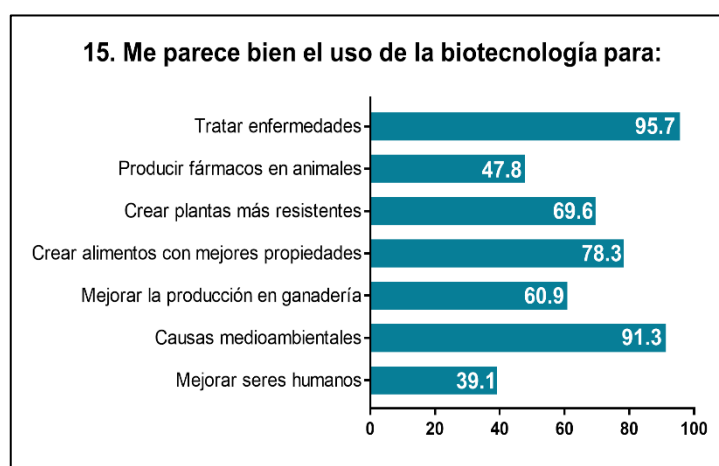


Figura 12. Gráfico de barras representando el porcentaje de respuestas favorables obtenidos en la pregunta 15 en el cuestionario posterior sobre conocimientos y actitudes hacia la biotecnología ($n = 23$).

de las *preguntas ocho y once*, presenta un mayor porcentaje de aprobación la mejora en la producción ganadera (60,9 %) que la producción de fármacos en animales (47,8 %). Por último, el uso de la biotecnología con la finalidad de perfeccionar características humanas es la que presenta una menor aprobación, con tan solo un 39,1 % del alumnado posicionándose a favor de su utilización. Este porcentaje representa un total de 9 alumnos sobre los 23 de la muestra total, lo cual parece indicar que gran parte del alumnado con una posición neutral en la *pregunta 10* finalmente se posiciona en contra de dicha aplicación.

A pesar de las limitaciones de la muestra poblacional utilizada, es notable destacar que los resultados obtenidos muestran similitudes con investigaciones previas en el área. Por ejemplo, un estudio realizado en estudiantes de segundo de Bachiller de varios institutos del sudeste de España arrojó resultados semejantes a los obtenidos en varias facetas de la biotecnología tales como la terapia génica (4,1 en el estudio mencionado, frente a 4,0 en la *pregunta 9*) y la experimentación animal (3,1, frente a 3,9 en la *pregunta 11*) (López-Banet et al., 2020). De manera similar, otro estudio realizado en estudiantes de 4º de ESO de varios institutos de las provincias de Málaga y Huelva, donde se observaron porcentajes de aprobación similares a varias de las aplicaciones: uso de organismos genéticamente modificados para depuración de aguas residuales (77 % en el estudio mencionado, frente al 91,3 % de las aplicaciones medioambientales); alteración de genes humanos para el tratamiento de enfermedades (88 %, frente al 95,7 %); alteración genética de vacas para producir medicinas de uso humano (51 %, frente al 47,8 %) y, finalmente, elección del color de los ojos de los futuros hijos (30 %, frente al 39,1 % de la mejora de seres humanos) (de la Vega Naranjo et al., 2018).

Para finalizar este apartado del análisis de las actitudes del alumnado hacia la biotecnología, es importante destacar que el objetivo del TFM no es influenciar al alumnado a adoptar una opinión específica sobre un tema en concreto —particularmente en temas complejos y de grandes dimensiones éticas, tales como la experimentación biomédica en animales—, sino brindarles los conocimientos científicos básicos necesarios para que puedan analizar y evaluar de manera crítica los diferentes argumentos y perspectivas que existen en torno a estas cuestiones, con la finalidad de que puedan formarse su propia opinión fundamentada sobre las controversias en el campo de la biotecnología.

4.2. Evaluación de la implantación de la propuesta didáctica

Para evaluar la implantación de la propuesta didáctica se administró un cuestionario de satisfacción al alumnado con el objetivo de recopilar su opinión y valoración sobre la

experiencia de aprendizaje, la cual fue utilizada como herramienta para obtener retroalimentación directa de los estudiantes y conocer su percepción y grado de satisfacción con respecto a la propuesta implementada. Las respuestas obtenidas por el alumnado que realizó el cuestionario ($n = 23$) se recogen la *Figura 13*.

En general, podemos observar que la respuesta global del alumnado frente a la propuesta ha sido bastante satisfactoria. En cuanto a las preferencias del alumnado, el total de los encuestados opinó que le había gustado ver la parte de biotecnología de esta forma, mientras que ninguno eligió la opción "hubiera preferido verlo "normal" en clase". Respecto a la adquisición de conocimientos, todos los estudiantes consideraron que habían aprendido trabajando el tema asignado en los agrupamientos, mientras que ninguno de ellos consideraba que hubiera aprendido más si se lo hubiera explicado la docente directamente.

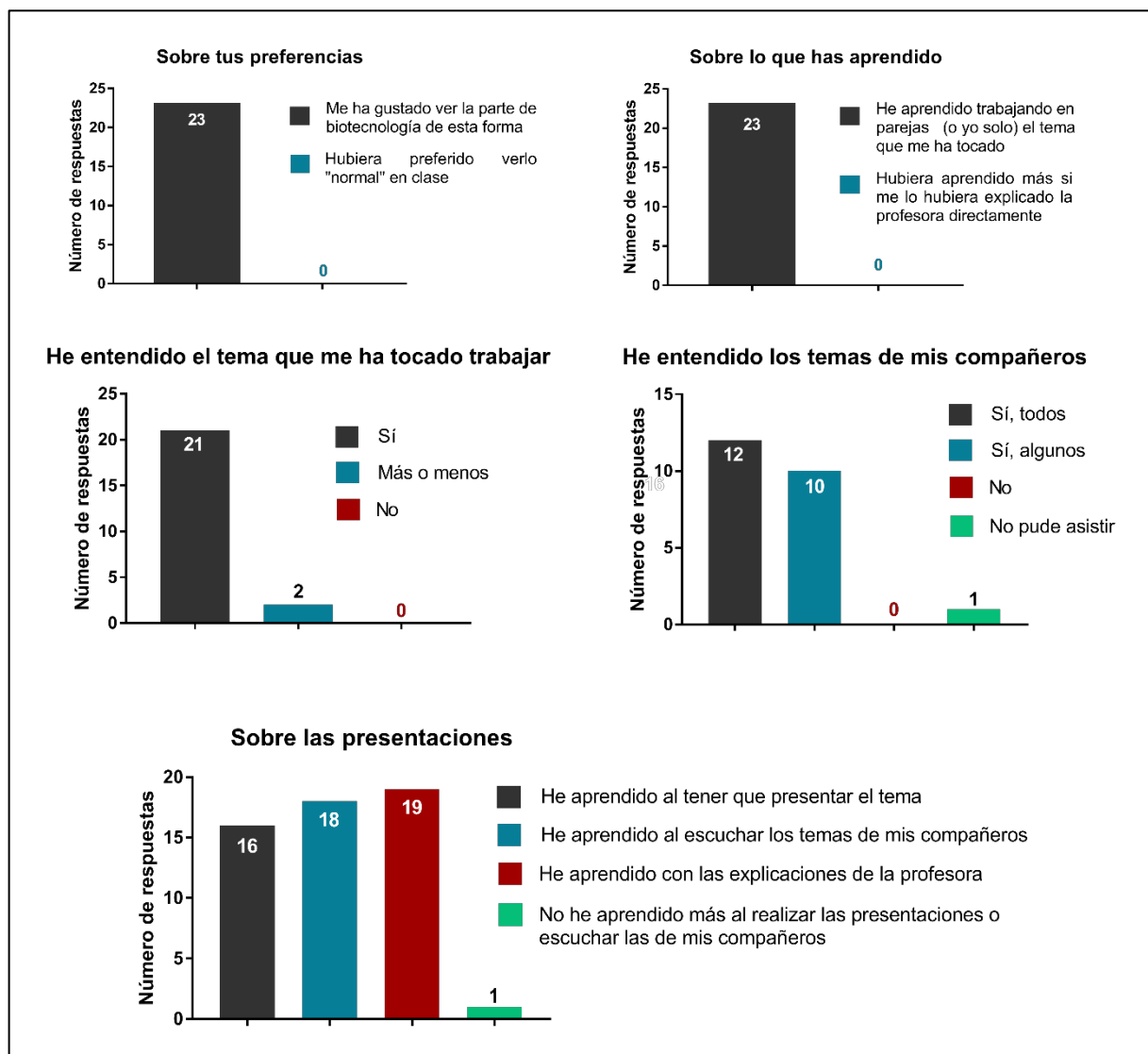


Figura 13. Gráficos de barras mostrando las respuestas al cuestionario de satisfacción ($n = 23$ alumnos).

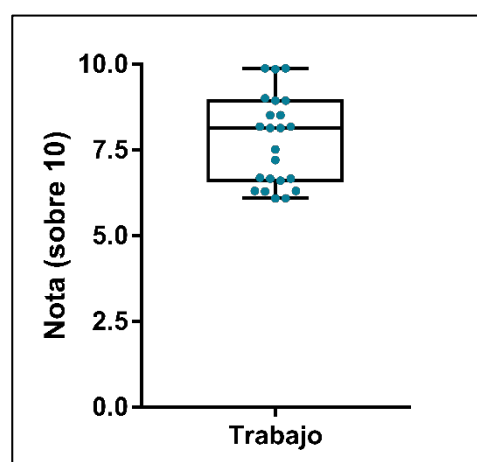
Similarmente y en línea con los resultados obtenidos en la *pregunta 4 (Figura 11)* 21 estudiantes contestaron que sí que habían entendido el tema que les había tocado trabajar, solo 2 contestaron que "más o menos" y ninguno tuvo una respuesta negativa. En cuanto a los temas expuestos por los compañeros en las presentaciones, 12 alumnos consideraron que habían entendido todos los temas expuestos, mientras que 10 contestaron que habían entendido únicamente algunos (el alumno restante no pudo asistir a la sesión). En esta línea, sobre las presentaciones, 16 alumnos contestaron que habían aprendido al tener que presentar el tema, 18 al escuchar los temas de los compañeros y 19 con las explicaciones de la docente; mientras que únicamente un alumno contestó que no había aprendido más con las presentaciones. Esto último recalca la importancia del papel del docente como mediador en la sesión de exposiciones, lo cual permite enriquecer los contenidos, promoviendo así un aprendizaje más significativo y una comprensión más sólida de las temáticas abordadas; así como profundizar, mediar y generar debate sobre cuestiones más controvertidas.

En cuanto a los comentarios y sugerencias de mejora, los cuales eran opcionales, únicamente se obtuvieron tres respuestas:

- *"Creo que están muy bien y deberíamos hacer más cosas de estilo"*
- *"Yo creo que la realización de estos trabajos está bastante bien planteada, así que no se me ocurre nada que haya que mejorar."*
- *"Ha estado todo muy bien."*

Por lo tanto, en general, los resultados reflejan una satisfacción generalizada por parte del alumnado, quienes valoraron positivamente la implantación de la propuesta y la comprensión de los contenidos trabajados. Esto último queda además respaldado por las calificaciones obtenidas por el alumnado en la propuesta (*Figura 14*), en las que podemos observar una calificación media de 7,8 puntos sobre 10 y una nota mínima de 6,1; hecho que, además, queda reflejado en la calidad de gran parte de las infografías realizadas (se muestran algunos ejemplos en el *Anexo VI*).

Figura 14. Diagramas de caja mostrando las calificaciones obtenidas por el alumnado en la propuesta didáctica. Cada punto representa la calificación de un estudiante.



4.3 Limitaciones y propuestas de mejora

A pesar de la valoración positiva de la propuesta didáctica por parte del alumnado, esta no se encuentra exenta de limitaciones y consideraciones a valorar de cara a implantarla en ocasiones futuras.

4.3.1 Limitaciones de la evaluación de los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología

Como se ha resaltado anteriormente, los resultados de la evaluación de los conocimientos y actitudes del alumnado hacia la biotecnología deben interpretarse con precaución teniendo en cuenta varias limitaciones, dado que:

- Los estudiantes ya poseían conocimientos previos sobre biotecnología antes de la realización de las presentaciones. Aunque se les administró el cuestionario previo a dichas presentaciones, probablemente sus respuestas hayan sido influenciadas por la información previa recibida, lo que limita la capacidad de detectar cambios significativos en la percepción. Para futuras implementaciones, se recomendaría realizar una evaluación diagnóstica inicial para obtener una visión más precisa del nivel de conocimientos previos de los estudiantes con el fin de poder evaluar los cambios en los conocimientos y actitudes y, además, adaptar la propuesta en consecuencia.
- Existe una diferencia en el número de participantes entre el cuestionario previo y el cuestionario posterior. Mientras que el cuestionario previo fue contestado por todos los estudiantes ($n = 26$), en el posterior solo participaron 23. Esta disparidad en la muestra puede tener implicaciones en la comparación de los resultados y la generalización de los hallazgos. Para obtener resultados más robustos, sería recomendable realizar un seguimiento exhaustivo de la participación de los estudiantes y asegurarse de que todos completan tanto el cuestionario previo como el posterior, lo cual permitiría contar con una muestra más representativa y, por lo tanto, una evaluación más precisa de los cambios en los conocimientos y actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología.

4.3.2. Limitaciones de la implementación de la propuesta

Durante la implementación de la propuesta didáctica se identificaron algunas limitaciones que es importante tener en cuenta para futuras mejoras.

- **A nivel de materiales**

En cuanto a las temáticas seleccionadas, se pudo observar que la comprensión de uno de los temas abordados (salmones *aquAdvantage*) resultó ser particularmente difícil para el alumnado. A raíz de esta experiencia, se sugiere revisar y ajustar los contenidos, eliminando aquellos que puedan generar dificultades significativas en su comprensión. De esta manera, se garantizaría que los temas abordados son accesibles y adecuados para el nivel de comprensión de los estudiantes.

En cuanto a la utilización de la plataforma *Genial.ly*, se encontraron dificultades con la accesibilidad de las cuentas educativas del alumnado para enlazar a la cuenta de *Google Drive* personal de la docente, la cual contenía los textos sobre los que trabajar. Esta limitación no permitió utilizar el recurso *Genial.ly* como repositorio, induciendo la necesidad de cambiar la propuesta inicial. Para futuras implementaciones, se recomienda buscar alternativas o soluciones tecnológicas que permitan el acceso a los materiales desde las cuentas educativas.

- **A nivel del desarrollo de la propuesta**

La principal de la limitación durante el desarrollo de la propuesta ha sido la realización de la sesión de presentación de las infografías. Al realizarla en una sola sesión, cada una de las presentaciones dispuso de un tiempo muy limitado lo cual, unido a la dificultad de la gestión del aula, hizo que se desarrollara de forma un tanto caótica. Para mejorar esto, se sugiere dividir las presentaciones en dos sesiones más estructuradas, brindando así más tiempo y espacio para el intercambio de ideas, el análisis crítico y el debate entre los estudiantes que permita crear un ambiente propicio para la reflexión.

5. Conclusiones

En base a los objetivos planteados y teniendo en cuenta las limitaciones previamente estipuladas, del presente trabajo pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Se ha diseñado e implantado una propuesta didáctica innovadora basada en el análisis de aplicaciones reales de la biotecnología en el contexto de las controversias sociocientíficas.
- A pesar de las limitaciones metodológicas para el análisis comparativo entre los cuestionarios previo y posterior a la propuesta, se ha podido observar cómo el abordaje

específico de determinados temas durante la sesión de exposiciones ha tenido un impacto sobre los conocimientos del alumnado.

- Tras la implementación de la propuesta el alumnado ha mostrado un buen nivel de conocimientos sobre las aplicaciones de la biotecnología.
- Tras la implementación de la propuesta el alumnado ha mostrado una actitud favorable hacia la biotecnología como herramienta para mejorar la sociedad y sobre la importancia de la existencia de limitaciones y controles en su uso.
- Las aplicaciones de la biotecnología con una mayor aceptación han sido el tratamiento de enfermedades y las causas medioambientales, seguidas de aplicaciones en agricultura y ganadería.
- Las aplicaciones de biotecnología con mayor divergencia de opiniones han sido aquellas que implican la utilización de animales con fines de experimentación biomédica y obtención de fármacos, así como la mejora de las características humana.
- Los estudiantes evaluaron positivamente su comprensión de las aplicaciones biotecnológicas trabajadas, así como un incremento de dicha comprensión durante las exposiciones, ya fuera por el propio hecho de exponer ellos mismos, escuchar las exposiciones de los compañeros y/o escuchar las explicaciones de la docente durante esta sesión.
- La satisfacción del alumnado con la implantación de la propuesta ha sido alta, mostrando una mayor preferencia al abordaje de estos contenidos mediante la propuesta didáctica frente a una metodología tradicional, lo cual repercute en un grado de involucramiento y motivación por parte de los estudiantes en el proceso de aprendizaje.

6. Referencias

Ausubel, D. P. (1960). The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 51(5), 267-272.

<https://doi.org/10.1037/h0046669>

Bybee, R. W. (1997). *Achieving Scientific Literacy: From Purposes to Practices*.

Dawson, V., & Schibeci, R. (2003). Western Australian high school students' attitudes towards biotechnology processes. *Journal of Biological Education*, 38(1), 7-12.

<https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655889>

- De La Vega Naranjo, M., Marín, A. L., & De Las Heras Pérez, M. Á. (2018). Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3301
- DECRETO 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León - Portal de Educación de la Junta de Castilla y León.
- Díaz-Moreno, N., & Jiménez-Liso, R. (2014). Las controversias sociocientíficas como contexto en la enseñanza de las ciencias. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 693-701.
- Elliott, P. (2006). Reviewing Newspaper Articles as a Technique for Enhancing the Scientific Literacy of Student-teachers. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/10670560500438420>
- Erdogan, M., Özel, M., Usak, M., & Prokop, P. (2009). Development and Validation of an Instrument to Measure University Students' Biotechnology Attitude. *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 255-264. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9146-6>
- Gibson, H., & Chase, C. C. L. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693-705. <https://doi.org/10.1002/sce.10039>
- Jumaat, N. F., Tasir, Z., Halim, N. D. A., & Ashari, Z. M. (2017). Project-Based Learning from Constructivism Point of View. *Advanced Science Letters*, 23(8), 7904-7906. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.9605>
- Koeppen, K., Hartig, J., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current Issues in Competence Modeling and Assessment. *Zeitschrift für Psychologie mit Zeitschrift für angewandte Psychologie*, 216(2), 61-73. <https://doi.org/10.1027/0044-3409.216.2.61>

- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277.
<https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Krajcik, J., & Shin, N. (2014). Project-Based Learning. En *Cambridge University Press eBooks* (pp. 275-297). <https://doi.org/10.1017/cbo9781139519526.018>
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.*
- Markula, A., & Aksela, M. (2022). The key characteristics of project-based learning: how teachers implement projects in K-12 science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00042-x>
- National Academies Press (US). (2017a). *The Complexities of Communicating Science*. Communicating Science Effectively - NCBI Bookshelf.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK425719/>
- National Academies Press (US). (2017). *Using Science to Improve Science Communication*. Communicating Science Effectively - NCBI Bookshelf.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK425715/>
- OECD. (2015). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*. Paris, France: OECD (PISA). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264026407-EN>
- ONU (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). Science Education in Europe: Critical Reflections. London: *The Nuffield Foundation*, 13.

- Ponce-Sacoto, D. H., & Ochoa-Encalada, S. C. (2021). Genial.ly como estrategia de aprendizaje en estudiantes de educación General Básica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(4), 136. <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i4.1495>
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.*
- Scheufele, D. A., Corley, E. A., Shih, T. J., Dalrymple, K. E., & Ho, S. S. (2008). Religious beliefs and public attitudes toward nanotechnology in Europe and the United States. *Nature Nanotechnology* 2009 4:2, 4(2), 91–94. <https://doi.org/10.1038/nnano.2008.361>
- Solbes, J. (2013, 9 abril). *Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza*. Solbes | Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. <https://ojs.uv.es/index.php/dces/article/view/2428/1973>
- Van Beuzekom, B., & Arundel, A. (2006). *OECD Biotechnology Statistics*.
- Verma, A., Agrahari, S., Rastogi, S., & Singh, A. (2011). Biotechnology in the realm of history. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 3(3), 321. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.84430>

Anexo I. Cuestionario inicial sobre la percepción del alumnado frente a diversos aspectos de la biotecnología

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutra	De acuerdo	Muy de acuerdo
La biotecnología permite crear plantas y alimentos con propiedades mejoradas					
La biotecnología permite reducir la contaminación del medioambiente					
Es posible modificar el ADN de una persona para tratar una enfermedad					
Creo que he entendido bien la aplicación biotecnológica que me ha tocado trabajar					
En España no se consumen alimentos transgénicos					
Los alimentos transgénicos son peligrosos porque pueden modificar el ADN de la persona que los consume					
No me importaría consumir un alimento transgénico					
Me parece bien que se creen animales modificados genéticamente para producir más alimento					
Me parece bien que se modifique el ADN de los humanos para curar enfermedades					
Me parece bien que se modifique el ADN de los humanos para mejorar sus características					
Me parece bien que se experimente en animales para el avance de la medicina					
Considero que la biotecnología es una buena herramienta para mejorar la sociedad					
Considero importante que haya limitaciones y controles en el uso de la biotecnología					
No hay tecnología buena o malo, todo depende del uso que se le dé					
Me parece bien el uso de la biotecnología para: <i>(marca todas las opciones que quieras)</i> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Tratar enfermedades <input type="checkbox"/> Producir fármacos en animales <input type="checkbox"/> Crear plantas más resistentes <input type="checkbox"/> Crear alimentos con mejores propiedades <input type="checkbox"/> Mejorar la producción en ganadería <input type="checkbox"/> Causas medioambientales (por ejemplo, eliminar productos tóxicos) <input type="checkbox"/> Mejorar seres humanos 					

Anexo II. Cuestionario de satisfacción del alumnado sobre la propuesta

1. Sobre lo que has aprendido:

- He aprendido trabajando en parejas (o yo solo) el tema que me ha tocado.
- Hubiera aprendido más si me lo hubiera explicado la profesora directamente.
- Otro: indicar

2. Sobre las presentaciones:

- He aprendido al tener que presentar el tema.
- He aprendido al escuchar los temas de mis compañeros.
- He aprendido con las explicaciones de la profesora.
- No he aprendido más al realizar las presentaciones o escuchar las de mis compañeros.
- Otro: indicar

3. Sobre tus preferencias:

- Me ha gustado trabajar la parte de biotecnología de esta forma.
- Hubiera preferido verlo "normal" en clase
- Otro.

4. He entendido el tema que me ha tocado trabajar:

- Sí
- Más o menos
- No

5. He entendido los temas de mis compañeros:

- Sí, todos.
- Sí, algunos.
- Ninguno
- Otros:___

6. Si quieres, aquí puedes añadir cualquier otro comentario, apreciación o sugerencia sobre estos trabajos:

Anexo III. Ejemplos de fichas de trabajo: ATryn y Salmones aquAdvantage



Biología y Geología
4º ESO C - Tema 8
Aplicaciones ingeniería genética y biotecnología

Nombres: _____

2. Cabras productoras de ATryn

- ¿De qué tipo de aplicación biotecnológica estamos hablando?
 - Medicina
 - Medioambiental
 - Agricultura
 - Ganadería
 - Piscicultura
- Concretamente, ¿de qué tipo de aplicación?
 - Obtención de sustancias
 - Diagnóstico de enfermedades
 - Terapia génica
- ¿Para la prevención de qué enfermedad está indicado ATryn?
- ¿Qué gen se ve afectado en esta enfermedad? ¿Para qué proteína codifica?
- ¿Cuál es su función de esta proteína? ¿Qué le ocurre a la proteína de las personas que padecen la enfermedad?
- ¿Qué síntomas presentan las personas que padecen esta enfermedad?
- ¿Qué proceso se lleva a cabo para la producción de ATryn?
 - Se introduce el gen de la antitrombina humana en el genoma de los seres humanos con la enfermedad.
 - Se introduce el gen de la antitrombina humana en el genoma de cabras que producen abundantes cantidades de la proteína en su leche, de donde después se aísla el fármaco.

8. Elaborad un esquema que ilustre el proceso que se ha seguido para producir el fármaco. Debéis incluir los siguientes elementos:

- Organismo 'receptor' del material genético
- Organismo 'donante' del material genético
- Gen transferido
- Herramientas de ingeniería genética utilizadas (enzimas de restricción, ADN ligasas, etc.)

Podéis inspiraros en el esquema de la página 160 del libro.

9. Mencionad algunos de los pros y contras que hayáis leído (o se os ocurran) que puedan derivarse de la obtención de sustancias en animales:

- Pros:

- Contras:

10. Imaginad que sois dos expertos/as en ingeniería genética y biotecnología: ¿qué querrías aportar a la sociedad con la aplicación de vuestros conocimientos? Podéis intentar curar una enfermedad, crear un organismo modificado genéticamente con propiedades nuevas... ¡echadle imaginación! **Proponed una aplicación cada componente del grupo:**

Nombre	Aplicación propuesta



Nombres: _____

8. Supersalmones aquAdvantage

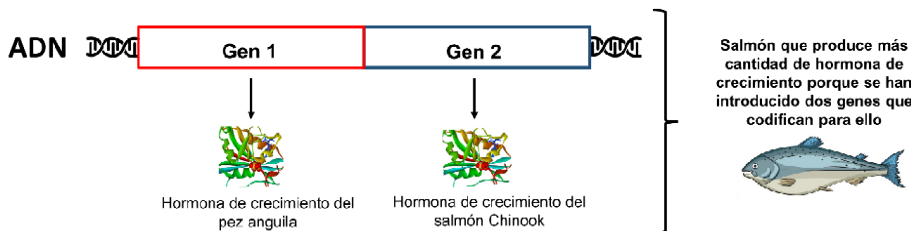
1. ¿De qué tipo de aplicación biotecnológica estamos hablando?

- | | |
|---|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Medicina | <input type="checkbox"/> Ganadería |
| <input type="checkbox"/> Medioambiental | <input type="checkbox"/> Piscicultura |
| <input type="checkbox"/> Agricultura | |

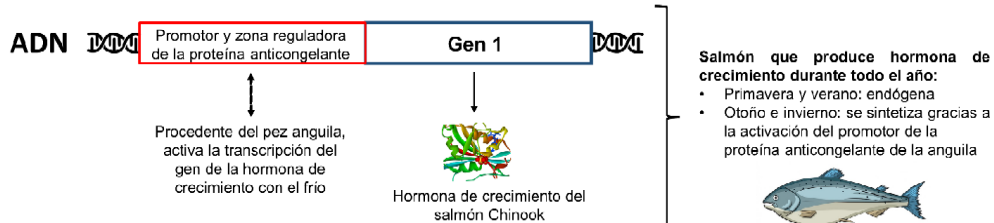
2. ¿Cuál es el organismo que se ha modificado genéticamente? ¿Le han añadido o quitado un gen?

3. Según se describe en el artículo, cuál de estos dos esquemas ilustra mejor el proceso que se ha llevado a cabo para crear los salmones aquAdvantage?

Opción A



Opción B



4. ¿Cuáles son los organismos 'donantes' del material genético?

5. ¿Qué material genético se ha insertado en el salmón? ¿Cuándo se activa?

6. ¿Qué ventajas le confiere al salmón aquAdvantage el material genético insertado?
7. Elaborad un esquema que ilustre el proceso que se ha seguido para crear el salmón aquAdvantage. Debéis incluir los siguientes elementos:
- Organismo 'receptor' del material genético
 - Organismos 'donantes' del material genético
 - Promotor y gen transferido
 - Herramientas de ingeniería genética utilizadas (enzimas de restricción, ADN ligasas, vectores de transferencia, etc.)

Podéis inspiraros en el esquema de la página 158 del libro.

8. Explicad dos de las ventajas que ofrecen los Organismos Modificados Genéticamente (OMGs).
9. Explicad dos argumentos que se utilicen en contra de los Organismos Modificados Genéticamente.
10. Imaginad que sois dos expertos/as en ingeniería genética y biotecnología: ¿qué querrías aportar a la sociedad con la aplicación de vuestros conocimientos? Podéis intentar curar una enfermedad, crear un organismo modificado genéticamente con propiedades nuevas... ¡echadle imaginación!
Proponed una aplicación cada componente del grupo:

Nombre	Aplicación propuesta

Una vez que hayáis rellenado la ficha, tenéis que **elaborar una infografía horizontal** con Powerpoint / Google slides / Canva (lo que más os guste) donde expliquéis, de forma resumida:

- En qué consiste la aplicación biotecnológica que os ha tocado
- Esquema del procedimiento para llevarla a cabo (organismo donante, receptor, gen transferido, etc.)
- Algún pro 😊 y algún contra 😞

ANEXO IV. Presentación con las instrucciones para la elaboración de la infografía

Instrucciones para elaborar la infografía

- Podéis usar Powerpoint, Canva, Google slides... lo que más os guste.
- Requisitos básicos: infografía horizontal, entrega en PDF, dentro de plazo y contiene todos los elementos.
- Elementos que debe incluir:
 1. Nombre y curso.
 2. Título de la aplicación biotecnológica asignada (podéis modificarlo a vuestro gusto)
 3. Breve descripción de la aplicación (máximo 40 palabras).
 4. Esquema del proceso, indicando:
 - Organismos donante(s) y receptor del material genético.
 - Qué gen se transfiere y/o función de la proteína que produce.
 - Objetivo/efecto que tiene el proceso en el organismo receptor?** →
 5. Un pro/ventaja y un contra/desventaja de esta aplicación

Ejemplos:

- Aumentar la concentración de vitamina K en la lechuga.
- Crear abejas que producen miel rica en una proteína que se purifica y sirve para tratar una enfermedad.
- Insertar un gen terapéutico (sano) en humanos enfermos que tienen ese gen defectuoso.

VER RÚBRICA ↓

Rúbrica para la infografía

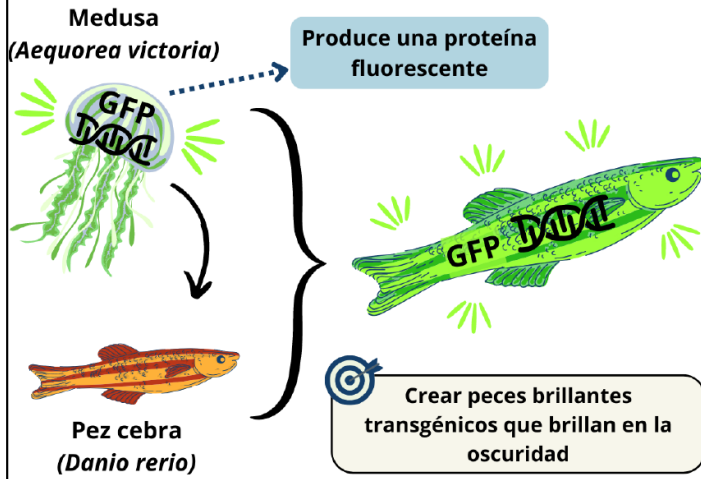
	Muy bien	10 Bien	5 Mejorable	0
Requisitos básicos 10 % Infografía horizontal, contiene todos los elementos, entrega en PDF y dentro de plazo.	Cumple los requisitos básicos		No cumple los requisitos básicos	
Título y descripción de la a 20 % Título de la aplicación (se puede modificar al gusto). Descripción de la aplicación biotecnológica (máximo 40 palabras).	El título y la descripción de la aplicación son concretos e incluyen la información más relevante. La descripción no sobrepasa las 40 palabras.	El título y la descripción de la aplicación son adecuados pero mejorables (falta información relevante, no es del todo clara...)	El título y la descripción de la aplicación no concretan ni incluyen la información más relevante. La descripción sobrepasa las 40 palabras.	
Esquema del proceso 50 % Que contenga todos los elementos (organismo donante y receptor, gen, efecto del proceso en el organismo receptor) y represente adecuadamente el proceso.	El esquema posee todos los elementos e ilustra adecuadamente el proceso.	El esquema posee todos los elementos pero no representa adecuadamente el proceso.	El esquema no posee todos los elementos y no representa adecuadamente el proceso.	
Pros y contras 15 % Debe incluir un pro (ventaja) y un contra (desventaja/argumento en contra/potencial peligro).	Se incluye un pro y un contra adecuado a la aplicación de forma concisa.		Faltan los pros y contras y/o no se adecúan a la aplicación.	
Apariencia 5 % El aspecto y la estética facilitan la comprensión.	La infografía es atractiva y equilibrada, el aspecto y la estética facilitan la comprensión.		La infografía no es atractiva y/o equilibrada, el aspecto y la estética no facilitan la comprensión (está sobrecargado, es liso...).	

GloFish®



Peces que son fluorescentes porque se les ha añadido el gen GFP (proveniente de una medusa), de manera que producen una proteína fluorescente.

Beatriz Almarán
Profe en prácticas
4º ESO C



Son... ¿chulos?



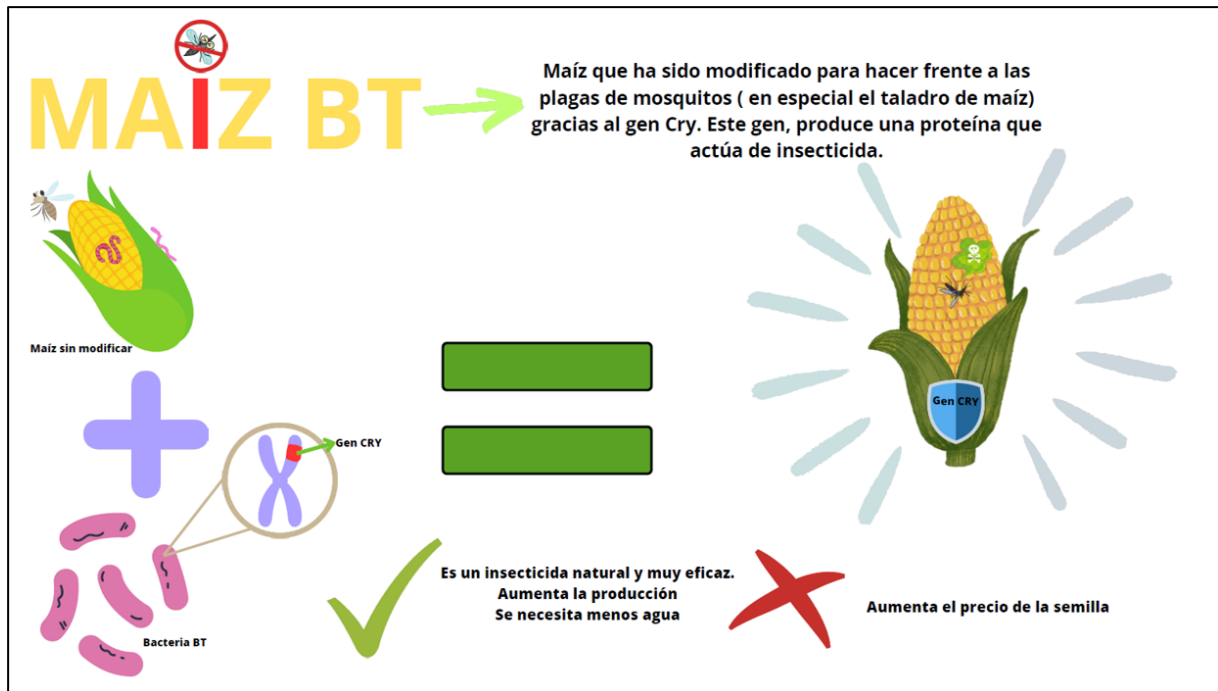
Pueden transferir el gen a especies salvajes, que serían más visibles frente a los depredadores.

ANEXO V. Rúbrica para la evaluación de la presentación

TEMA:		NOMBRE:		
	Excelente	Satisfactorio	Mejorable	Insuficiente
Habla	Pronuncia correctamente y con la entonación adecuada, sin pausas y con seguridad	Pronuncia correctamente con algún fallo de entonación	Presenta fallos en la pronunciación y en la entonación	Presenta muchos fallos tanto en la pronunciación como en la entonación
Vocabulario	Utiliza un vocabulario rico y adecuado	Utiliza un vocabulario adecuado	El vocabulario es limitado, repite palabras en ocasiones	Muestra un vocabulario limitado, repite palabras frecuentemente
Volumen	Mantiene un volumen adecuado durante toda la exposición, se escucha en todo el aula sin necesidad de gritar	El volumen es adecuado la mayoría de la exposición, aunque en ocasiones se torna débil	El volumen es demasiado débil durante gran parte de la presentación, siendo prácticamente inaudible desde algunos puntos del aula	El volumen es demasiado débil durante la totalidad de la presentación, siendo prácticamente inaudible desde algunos puntos del aula
Comprensión	Aborda todos los contenidos con seguridad y soltura ampliando, incluso, con algunos puntos que no venían expresamente indicados. Responde adecuadamente a las preguntas	Aborda todos los contenidos pedidos con seguridad y soltura, sin ampliar. Responde adecuadamente a las preguntas	Aborda casi todos los contenidos pedidos con relativa seguridad y soltura. Responde de forma adecuada a las preguntas, con algún fallo.	No aborda todos los contenidos pedidos, no muestra seguridad ni dominio del tema. No responde adecuadamente a las preguntas
Postura y contacto visual	Orienta la postura hacia la audiencia, mantiene el contacto ocular, no muestra signos de nerviosismo y utiliza un lenguaje no verbal adecuado	Orienta la postura hacia la audiencia, frecuente contacto ocular, muestra pocos signos de nerviosismo y utiliza un lenguaje no verbal adecuado	Le cuesta mantener el contacto ocular, muestra bastantes signos de nerviosismo y no utiliza el lenguaje no verbal	No orienta su postura hacia la audiencia, no mantiene contacto ocular, muestra signos de nerviosismo muy evidentes y no utiliza el lenguaje no verbal
Otros:				

ANEXO VI. Ejemplos de infografías elaboradas por el alumnado

Ejemplo 1. Maíz Bt (maíz resistente frente a la plaga del insecto taladro).



Ejemplo 2. Producción del fármaco Kanuma en Gallinas.

