



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA



TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PROFESOR DE EDUCACION SECUNDARIA OBLIGATORIA, BACHILLERATO,
FORMACION PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

ESPECIALIDAD: Biología y Geología

"La evolución en el aula. Propuesta de tres intervenciones didácticas para 4º de la ESO basadas en el uso de metodologías activas"

"Evolution in the classroom. Proposal for three teaching interventions for 4th year of compulsory secondary education based on the use of active methodologies"

Autor/a: David Araco Sánchez

Tutor/a: Dra. María Rocío Esteban Gallego

En Salamanca a 9 de junio de 2025
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
FACULTAD DE EDUCACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PROFESOR DE EDUCACION SECUNDARIA
OBLIGATORIA, BACHILLERATO, FORMACION PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE
IDIOMAS
ESPECIALIDAD: Biología y Geología

“La evolución en el aula.

Propuesta de tres intervenciones didácticas para 4º de
la ESO basadas en el uso de metodologías activas”

"Evolution in the classroom. Proposal for three teaching
interventions for 4th year of compulsory secondary education based
on the use of active methodologies”

Autor/a: David Araco Sánchez

Tutor/a: Dra. María Rocío Esteban Gallego



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

D./Dña. David Araco Sánchez,

con DNI _____, matriculado en la Titulación de Máster en

Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y

Enseñanzas de Idiomas, en la especialidad de Matemáticas **Declaro** que he redactado el

Trabajo Fin de Máster titulado

La evolución en el aula. Propuesta de tres intervenciones didácticas

para 4º de la ESO basadas en el uso de metodologías activas.

del curso académico 2024/2025 de forma autónoma, con la ayuda de las fuentes y

la literatura citadas en la bibliografía, y que he identificado como tales todas las partes

tomadas de las fuentes y de la literatura indicada, textualmente o conforme a su sentido.

En Salamanca, a 9 de junio de 2025

Fdo.: David Araco Sánchez

Resumen

La enseñanza de la evolución y la genética en 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria presenta algunas dificultades habituales, como la falta de motivación del alumnado, la escasa conexión de los contenidos con su realidad y el uso frecuente de metodologías tradicionales poco atractivas. A esto se suma la complejidad de ciertos conceptos, que favorece la aparición y persistencia de errores o ideas alternativas.

Con el objetivo de abordar estos problemas, se ha diseñado una propuesta didáctica formada por tres intervenciones didácticas basadas en metodologías activas. La propuesta se apoya en el marco legal actual y sigue un enfoque competencial acorde con la LOMLOE, incluyendo además valores relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Las actividades están orientadas a fomentar un aprendizaje significativo y cercano al entorno del alumnado. Se utilizan estrategias como la indagación, el trabajo cooperativo y la gamificación, con la intención de desarrollar tanto competencias científicas como habilidades transversales.

En conjunto, esta propuesta busca promover una enseñanza más dinámica y contextualizada, que contribuya a la formación de estudiantes críticos, reflexivos y comprometidos con su entorno.

Palabras clave: aprendizaje guiado, contextualización, errores conceptuales, evolución, gamificación, pensamiento crítico.

Abstract

The teaching of evolution and genetics in the 4th year of Compulsory Secondary Education presents some common difficulties, such as the lack of motivation of students, the poor connection of the contents with their reality and the frequent use of unattractive traditional methodologies. Added to this is the complexity of certain concepts, which favors the appearance and persistence of errors or alternative ideas.

In order to address these problems, a didactic proposal has been designed consisting of three interventions based on active methodologies. The proposal is based on the current legal framework and follows a competency-based approach in accordance with the LOMLOE, also including values related to the Sustainable Development Goals. The activities are aimed at promoting meaningful learning close to the students' environment. Strategies such as inquiry, cooperative work and gamification are used, with the intention of developing both scientific competences and transversal skills.

Overall, this proposal seeks to promote a more dynamic and contextualized teaching, which contributes to the formation of critical, reflective students committed to their environment.

Key words: guided learning, contextualization, misconceptions, evolution, gamification, critical thinking.

Índice

1.	Introducción.....	6
2.	Marco teórico.....	7
2.1.	Metodologías activas.....	7
2.2.	Legislación.....	9
3.	Objetivos	9
3.1.	Objetivos específicos por intervención:	9
4.	Intervención didáctica.....	9
4.1.	Justificación	10
4.2.	Contextualización en el aula.....	11
4.3.	Contenidos	11
5.	Diseño de intervenciones.....	13
5.1.	Intervención 1: “Destino final: selección natural”.....	13
5.1.1.	Metodología.....	13
5.1.2.	Objetivos didácticos	13
5.1.3.	Competencias	14
5.1.4.	Descripción del juego. “Destino final: selección natural”.....	15
5.1.5.	Desarrollo de la intervención.....	20
5.2.	Intervención 2: Practica interdisciplinar: la batalla contra las bacterias	21
5.2.1.	Metodología.....	22
5.2.2.	Objetivos didácticos	22
5.2.3.	Competencias	23
5.2.4.	Materiales	24
5.2.5.	Desarrollo de la intervención	25
5.3.	Intervención 3: Gymkana evolutiva: "Tras las huellas de nuestros ancestros" en el Museo de Evolución Humana (MEH) 32	
5.3.1.	Metodología.....	32
5.3.2.	Objetivos didácticos	33
5.3.3.	Competencias	33
5.3.4.	Descripción y desarrollo de la actividad	34
6.	Evaluación del alumnado	38
6.1.	Evaluación de la intervención N°1	38
6.2.	Evaluación de la intervención N°2	39
6.3.	Evaluación de la intervención N°3	40
7.	Conclusión.....	42
8.	Bibliografía.....	43
9.	Anexos.....	44
9.1.	Anexo I. Partida de ejemplo y recursos del juego	44
9.2.	Anexo II. Ficha evaluable de la práctica.....	46
9.3.	Anexo III. Recursos originales para la actividad del MEH	48

1. Introducción

La evolución de las especies, junto con los fundamentos genéticos que la sustentan, abarca una serie de conocimientos fundamentales para comprender el mundo natural que nos rodea. La evolución es un concepto vertebrador de la biología, clave para comprender la unidad y diversidad de la vida.

A pesar de que el estudio de la evolución se orienta fundamentalmente a la comprensión de los procesos de generación y extinción de especies, su enseñanza permite el desarrollo de competencias y la adquisición de conocimientos que trascienden la simple distinción entre las teorías de Darwin y Lamarck, así como el análisis del origen de la especie humana.

Estudiar la evolución implica un ejercicio ineludible de lógica y pensamiento crítico. Al intentar entender su funcionamiento, se recurre al método científico y a su aplicación práctica. A través de estas herramientas se explican fenómenos actuales de gran relevancia, tales como el aumento de superbacterias resistentes a los antibióticos, la crisis de extinción de especies o las posibilidades de vida extraterrestre, entre muchos otros temas.

Sin embargo, al igual que ocurre con otras áreas de conocimiento, para explicar estos conceptos en las aulas de educación secundaria se hacen patentes ciertas dificultades. Por un lado, los conceptos evolutivos se enseñan de forma tardía y fragmentada, lo que favorece la persistencia de errores conceptuales previos. No obstante, las ideas previas sobre evolución, aunque frecuentes, no impiden un aprendizaje significativo si se abordan con estrategias adecuadas (Vázquez-Ben & Bugallo- Rodríguez, 2022).

En este sentido, uno de los errores conceptuales más arraigados en alumnos de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) es que, aunque aceptan la existencia de la evolución, a la hora de explicar el 'cómo' y el 'porqué' se producen los cambios, utilizan argumentos más estrechamente relacionados con la teoría de Lamarck (Sánchez, Conde & Zapata, 2017). Para el alumno, las premisas lamarckistas se relacionan mejor con el esquema que le permite entender el mundo. La teoría de los caracteres adquiridos, el cambio de los organismos por el uso/desuso de órganos, o la influencia del ambiente en la herencia y evolución, son algunas de las ideas que tienen preconcebidas por ser más intuitivas y ligar mejor con su marco general de entendimiento.

Por otro lado, el uso casi exclusivo de la metodología expositiva puede dificultar el desarrollo de aprendizaje significativo, especialmente cuando los conceptos se han de comprender por primera vez. Las últimas décadas se encuentran marcadas por cambios y transformaciones en las políticas educativas que dirigen los procesos de enseñanza a un aprendizaje integral, crítico, innovador y que promueve el desarrollo de habilidades personales, además de las cognitivas.

Los docentes deben valerse de otros recursos para conseguir la motivación que permite alcanzar este tipo de aprendizaje. En este sentido, las metodologías activas como la indagación o el trabajo cooperativo tienen un impacto positivo en la motivación y el

aprendizaje de las ciencias.

Este tipo de metodologías son fáciles de implementar en el contexto de unas prácticas de laboratorio docente. La enseñanza constructivista propone este tipo de prácticas en las que se considere a los alumnos como investigadores noveles, a través de la implementación del modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida. De esta manera, las actividades experimentales se conciben como pequeñas investigaciones que, en última instancia facilitan el aprendizaje.

Otra de las metodologías activas que se ha demostrado muy útil a la hora de facilitar el aprendizaje significativo en los alumnos es la gamificación. Esta metodología se caracteriza por la presentación de conocimientos mediante el juego o entretenimiento, y presenta grandes ventajas para desarrollar actitudes positivas y motivación hacia la enseñanza de las ciencias (Marcos-Merino *et al.*, 2019). Además, el aprendizaje basado en juegos propone un aprendizaje activo, favoreciendo el desarrollo metacognitivo y la capacidad de construir teorías propias. En última instancia, permite al alumno no solo aprender contenidos, sino también reflexionar sobre cómo los aprende (White *et al.*, 2013).

El presente trabajo se orienta al diseño de una intervención didáctica basada en el uso de diferentes metodologías activas, que permite presentar la evolución no como un conjunto de conceptos teóricos a memorizar, si no como un medio para fomentar el desarrollo de competencias transversales en el alumnado.

Dentro del currículo de la ESO, la evolución está presente en mayor o menor medida en todos los cursos dentro de las asignaturas de Biología o Ciencias Naturales, siendo en 4º de ESO donde se profundiza con mayor intensidad tanto en los conocimientos como en las competencias derivadas de estos. Por este motivo, y con el objetivo de diseñar actividades centradas en la comprensión del concepto de evolución, se toma como referencia el curso de 4º de ESO, ya que su estructura curricular justifica con mayor solidez el trabajo en esta materia.

2. Marco teórico

2.1. Metodologías activas

Las metodologías activas han adquirido una relevancia creciente en el ámbito educativo, especialmente en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), debido a su estrecha relación con el desarrollo de competencias clave propuestas por el currículo vigente en España, establecido por la Ley Orgánica de Modificación de la Ley Orgánica de Educación (LOMLOE).

En contraste con la enseñanza transmisiva tradicional, estas metodologías buscan que el alumnado se convierta en agente activo en la resolución de problemas, la toma de decisiones y la elaboración de productos o tareas auténticas. Así, se estimulan habilidades cognitivas de orden superior como el pensamiento crítico, la creatividad o la capacidad de aprender a

aprender (Fernández Ábalos & de la Torre Laso, 2024). Metodologías como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), el Aprendizaje Cooperativo o la Gamificación permiten estructurar experiencias de aprendizaje en las que los estudiantes aplican conocimientos en contextos significativos, conectando con su realidad y favoreciendo la transferencia de lo aprendido.

Respecto al ABP, diversos estudios han demostrado su eficacia en la mejora del rendimiento académico y en la adquisición de competencias transversales. Esta metodología fomenta el trabajo colaborativo, la investigación autónoma y la responsabilidad individual dentro de una meta común (Fernández Ábalos & de la Torre Laso, 2024). Asimismo, el uso de la Gamificación en entornos educativos ha mostrado beneficios en términos de motivación, participación y compromiso del alumnado, lo que a su vez se traduce en una mayor retención del conocimiento (Álvarez-Herrero, 2022).

La implementación de metodologías activas en la ESO también permite responder a la diversidad del aula, facilitando un enfoque inclusivo y adaptado a distintos ritmos y estilos de aprendizaje. Desde esta perspectiva, se fomenta el trabajo por competencias, entendidas como combinaciones de conocimientos, destrezas y actitudes necesarias para el desarrollo personal, social y profesional del alumnado. Este enfoque competencial es precisamente uno de los pilares fundamentales de la LOMLOE, que exige una evaluación formativa y continua centrada en el progreso individual y en la aplicación práctica de los aprendizajes.

No obstante, la adopción de estas metodologías no está exenta de dificultades. Entre los principales retos destacan la necesidad de formación del profesorado, la gestión eficiente del tiempo y el diseño de situaciones de aprendizaje bien estructuradas y alineadas con los objetivos curriculares (Molina Vicente, 2023). Para que las metodologías activas sean realmente eficaces, es imprescindible que los docentes dispongan de recursos adecuados, así como de espacios de colaboración profesional que les permitan compartir experiencias, materiales y estrategias.

Sin embargo, las ventajas que tienen las metodologías activas en la educación y en el desarrollo competencial no debe justificar el desecho de la metodología expositiva clásica, siendo esta es una metodología efectiva cuando se utiliza correctamente y no se hace abuso de la misma. Mediante el uso correcto de las distintas metodologías el alumno puede adquirir un aprendizaje significativo. Este trabajo presenta diferentes intervenciones didácticas que buscan generar ese aprendizaje significativo usando distintas metodologías activas.

En definitiva, las metodologías activas constituyen una herramienta potente para promover un aprendizaje profundo y duradero, en línea con las demandas de la sociedad actual. Su aplicación en la ESO contribuye no solo a mejorar el rendimiento académico, sino también a formar ciudadanos críticos, autónomos y capaces de desenvolverse en contextos complejos y cambiantes. Apostar por ellas implica transformar la cultura docente y, en última instancia, ofrecer una educación de mayor calidad.

2.2. Legislación

El presente trabajo está fundamentado en las normativas que conforman el marco legal y curricular vigente para la impartición de 4º de ESO en Castilla y León para el curso 2024/2025, estas son:

- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, de modificación de la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación, BOE núm. 340, de 30 de diciembre de 2020.
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. Boletín Oficial del Estado, 76, de 30 de marzo de 2022.
- 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. Objetivos

El presente trabajo tiene como finalidad el diseño de una propuesta didáctica que permite abordar los contenidos del módulo de evolución y genética de la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO mediante metodologías activas.

3.1. Objetivos específicos por intervención:

1. Diseñar una intervención didáctica orientada a abordar errores conceptuales frecuentes del alumnado de 4.º de ESO sobre el proceso evolutivo, mediante el uso de la metodología activa de aprendizaje basado en juegos (ABJ).
2. Diseñar una práctica de laboratorio basada en una metodología activa de indagación guiada, que permita acercar al alumnado de 4.º de ESO el proceso evolutivo de las bacterias a través de la realización de un antibiograma.
3. Implementar la práctica de laboratorio con el fin de favorecer la comprensión del proceso evolutivo bacteriano mediante el aprendizaje experiencial.
4. Diseñar la actividad basada en la gamificación y el aprendizaje por descubrimiento guiado, para su desarrollo durante una visita al Museo de la Evolución Humana (MEH) de Burgos, con el objetivo de acercar al alumnado de 4.º de ESO los principales descubrimientos realizados en los yacimientos de Atapuerca.

4. Intervención didáctica

En esta propuesta se exponen tres intervenciones didácticas enmarcadas en el desarrollo de los contenidos sobre evolución y genética para el curso de 4º de ESO.

- Intervención 1: “Destino final: selección natural”
- Intervención 2: Practica interdisciplinar: “La batalla contra las bacterias”
- Intervención 3: Gymkana evolutiva: “Tras las huellas de nuestros ancestros”

En cada intervención se plantean diferentes aproximaciones para trabajar el tema de la evolución de las especies, con el propósito de fomentar el desarrollo de distintas competencias clave y específicas propias de esta etapa educativa.

4.1. Justificación

Al reflexionar sobre la relevancia de la teoría de la evolución en la comprensión de los fenómenos biológicos, se considera especialmente significativa la conocida afirmación del genetista y biólogo evolutivo Theodosius Dobzhansky (1900–1975): “Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución”. Aunque dicha afirmación parte de una perspectiva vinculada al ámbito evolutivo, la publicación de *El origen de las especies por medio de la selección natural* en 1859, por parte de Charles Darwin, proporciona un fundamento sólido a esta visión. Dicha obra genera una transformación profunda no solo en el pensamiento científico, sino también en las esferas ética, moral y cultural. En la actualidad, gracias a la consolidación de la síntesis moderna, se reconoce con mayor claridad el papel central de la evolución como marco explicativo fundamental para comprender la diversidad y complejidad del mundo natural.

El ser humano ha buscado siempre entender el mundo en el que habita para adaptarse mejor a él. En este proceso, el uso de la razón ha ido consolidándose en las sociedades, y actualmente la ciencia ocupa un papel central en la interpretación de la realidad en el contexto occidental. En un entorno saturado de información, muchas veces poco rigurosa, el pensamiento crítico y el respeto por la evidencia científica promovidos por el estudio de la evolución se consolidan como competencias esenciales para el desarrollo integral de las personas.

En este sentido, comprender los procesos relacionados con la evolución, permite situar al ser humano dentro del marco de la naturaleza, reconociendo la conexión profunda que se comparte con todas las formas de vida. En el Trabajo de Fin de Master (TFM) que se presenta, las intervenciones didácticas permiten que los alumnos reflexionen sobre muchos de los retos actuales como son el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o la aparición de resistencias bacterianas, todos ellos vinculados directamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): el ODS 3 (Salud y bienestar), el ODS 13 (Acción por el clima), el ODS 14 (Vida submarina), y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

En el nivel educativo de 4º de ESO, el trabajo en torno al conocimiento sobre evolución adquiere especial relevancia. A esta edad, se desarrolla una capacidad de comprensión más abstracta y madura, lo que permite integrar contenidos de genética, biología, ecología y geología de forma coherente y significativa, reforzando competencias clave relacionadas

con el ODS 4 (Educación de calidad). Además, se fomentan competencias transversales como el análisis de datos, la argumentación lógica y la comprensión de la diversidad biológica y cultural desde una perspectiva inclusiva. Todo esto en consonancia con los valores de igualdad y sostenibilidad promovidos por los ODS 5 (Igualdad de género) y ODS 10 (Reducción de las desigualdades).

En definitiva, promover un aprendizaje profundo sobre la evolución en la etapa final de la Educación Secundaria Obligatoria no solo contribuye a la formación científica del alumnado, sino que también impulsa su desarrollo personal. Este conocimiento les permite adquirir una visión crítica, fundamentada y consciente del entorno, favoreciendo la formación de ciudadanos capaces de actuar con responsabilidad, rigor y compromiso en la construcción de un futuro más justo y sostenible.

4.2. Contextualización en el aula

Esta propuesta didáctica no se diseña para su implementación en un centro concreto ni en una realidad particular, sino que se plantea con un enfoque general que permite su aplicación en cualquier instituto de Educación Secundaria de Castilla y León.

No obstante, se reconocen ciertos condicionantes que pueden facilitar o dificultar la implementación de las intervenciones propuestas, especialmente en lo que respecta a la práctica de microbiología y la visita al Museo de la Evolución Humana (MEH). En el caso de la práctica, pueden surgir dificultades en contextos rurales o en centros con recursos limitados en sus laboratorios. Por su parte, la visita al MEH resulta más viable si el instituto se localiza en Burgos, tanto desde el punto de vista económico como logístico, ya que el desplazamiento puede requerir una jornada escolar completa. En este último caso, lo ideal sería adaptar la salida para integrar competencias transversales vinculadas a varias asignaturas.

4.3. Contenidos

Las intervenciones didácticas planteadas en este trabajo se justifican en los contenidos del currículo de la asignatura de Biología y Geología del curso de 4º de la ESO. Sin embargo, debido a la importancia del desarrollo competencial que tienen las intervenciones didácticas, todas ellas pueden ser adaptadas a los contenidos correspondientes a la asignatura de biología de 1º de Bachillerato, esencialmente la intervención 2.

Los contenidos que se trabajan en las intervenciones didácticas diseñadas (Tabla 1) se corresponden con contenidos de la asignatura de Biología y Geología del curso de 4º ESO, fijados en el DECRETO 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la ESO en la Comunidad de Castilla y León, y con el DECRETO 40/2022 de la misma fecha, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.

Tabla 1. *Contenidos trabajados en la propuesta didáctica.*

Fuente: elaboración propia.

CONTENIDOS INTERVENCIONES DIDÁCTICAS		
Asignatura	Bloque	Contenidos
Biología y Geología (4º ESO)	A. Proyecto científico	- Preguntas, hipótesis y conjeturas científicas: planteamiento con perspectiva científica.
		- Controles experimentales (positivos y negativos) y argumentación sobre su esencialidad para obtener resultados objetivos y fiables en un experimento.
		- Estrategias de experimentación para responder a una cuestión científica determinada utilizando los instrumentos y espacios (laboratorio, aulas o entorno natural) de forma adecuada y precisa.
		- Métodos de observación y de toma de datos de fenómenos naturales.
	C. Genética y evolución	- Métodos de análisis de resultados. Diferenciación entre correlación y causalidad
		- Mutaciones y la replicación del ADN. Influencia en la evolución y la biodiversidad. Influencia en el cáncer.
		- Evolución humana. Proceso de hominización. Relevancia científica de los hallazgos fósiles de la Sierra de Atapuerca (Burgos).
		- Teorías evolucionistas de relevancia histórica: lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo
		- Fenotipo y genotipo. Epigenética.
		- Problemas sencillos de herencia genética de caracteres autosómicos con relación de dominancia completa y recesividad con uno o dos genes (Leyes de Mendel).
Biología, Geología y Ciencias Ambientales (1º de Bachillerato)	A. Proyecto científico	- Método científico: hipótesis, preguntas, problemas y conjeturas.
		- Diseño, planificación y realización de experiencias científicas de laboratorio o de campo para contrastar hipótesis y responder cuestiones. Importancia de la identificación de variables y del uso de controles para obtener resultados objetivos y fiables.
		- Trabajo en el laboratorio: normas básicas de seguridad. Características de los laboratorios según su nivel de bioseguridad
	G. Los microorganismos y formas acelulares	- Bacterias y arqueas: características estructurales, funcionales, diferencias y clasificación.
		- Microorganismos como agentes causales de enfermedades infecciosas: zoonosis y epidemias.
		- Mecanismos de transferencia genética horizontal en bacterias: el problema de la resistencia a antibióticos.
		- Mecanismos de transferencia genética horizontal en bacterias: el problema de la resistencia a antibióticos.

5. Diseño de intervenciones

5.1. Intervención 1: “Destino final: selección natural”

Esta intervención didáctica titulada “Destino final: selección natural” se diseña para llevarse a cabo durante 3 sesiones y presupone la explicación previa de contenidos del módulo de evolución y genética en, al menos, otras dos sesiones previas. Por lo tanto, es una intervención para trabajar y afianzar contenidos previamente impartidos al alumno con dos sesiones:

- **Sesión 1:** Explicación del juego y desarrollo de la primera ronda.
- **Sesión 2:** Se completa una partida del juego.
- **Sesión 3:** Exposición de resultados y reflexión final.

5.1.1. Metodología

La presente intervención se diseña con el objetivo de abordar los errores conceptuales que el alumnado de 4.º de Educación Secundaria Obligatoria presenta en relación con el proceso evolutivo. Para ello, se plantea el uso de un juego educativo titulado Destino final: selección natural, basado en la metodología activa de aprendizaje basado en juegos (ABJ).

Asimismo, el diseño del juego se adapta a una situación contextualizada relacionada con la conservación de especies, lo que permite integrar en la propuesta contenidos vinculados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente aquellos relacionados con la acción por el clima y la protección del entorno natural.

Respecto a la aplicación del juego en el aula, la intervención está diseñada para llevarse a término en grupos de 4 alumnos, con un total de 6 grupos suponiendo una clase total de 24 alumnos.

5.1.2. Objetivos didácticos

Los objetivos didácticos de la intervención 1 son:

- Realizar problemas sencillos de herencia genética de caracteres autosómicos con relación de dominancia completa y recesividad con uno o dos genes (Leyes de Mendel). Conceptos de homocigotos y heterocigotos.
- Aprender la diferencia entre genotipo y fenotipo.
- Comprender la influencia del ambiente en la evolución de las especies. Concepto de adaptación evolutiva y fijación de caracteres positivos para la reproducción/supervivencia.

- Comprender la evolución como un proceso no finalista y dependiente del azar.
- Introducir los conceptos de alopatría y simpatría y su importancia en la generación y extinción de especies o poblaciones
- Diferenciar entre Lamarckismo y Darwinismo, desmontando ideas como "la necesidad genera adaptación".
- Identificar el papel de las mutaciones, la selección natural, la deriva genética y los cambios ambientales en la evolución de las especies.
- Reflexionar sobre la conservación de especies reales, conectando con los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible).
- Desarrollar habilidades de comunicación oral y escrita a través de la presentación de resultados.
- Desarrollar habilidades de trabajo cooperativo mediante el desarrollo del juego y la exposición de resultados.

5.1.3. Competencias

Las competencias que se trabajan en la intervención 1 están en concordancia con la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO (Tabla 2), según 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.

Tabla 2. Competencias y criterios de evaluación de la primera intervención.

Fuente: Elaboración propia.

Competencias clave	Competencias específicas	Criterios de evaluación	Indicadores de logro	Descriptorios operativos	Objetivos de etapa
CCL STEM CPSA CC CCC	CE1	1.1 1.2 1.3	1.1.1, 1.1.2 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 1.3.1, 1.3.2	CCL1, CCL2, STEM2, CD1, CD2 CPSAA4, CE1, CCEC3	a, b, e, f, g
	CE4	4.1 4.2	4.1.1, 4.1.3, 4.1.4, 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3	STEM1, STEM2 CD2, CD5 CPSAA5, CE1, CE3, CCEC4	a, b, c, f, g
	CE5	5.1 5.2 5.4	5.2.1, 5.2.2, 5.4.1	STEM5, CD4, CPSAA2, CC4, CE1	a, f, g, o

5.1.4. Descripción del juego. “Destino final: selección natural”

“Destino final: selección natural” es un juego de simulación diseñado para que el alumnado de 4º de ESO comprenda de forma lúdica y experiencial algunos de contenidos del bloque de genética y evolución.

I. Descripción general del juego y justificación.

El juego “Destino final: selección natural” permite trabajar la evolución a partir del seguimiento de los genotipos de una población de perdiz nival (*Lagopus muta*).

La perdiz nival es un ave que habita los pirineos y que figura como vulnerable tanto en el Libro Rojo de las Aves de España 2021 como en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas, por tanto, se considera una especie amenazada en España.

Los principales problemas de conservación son dos: el calentamiento global y el turismo en alta montaña. El cambio climático en los Pirineos, evidente por la reducción paulatina de los últimos glaciares y la menor innivación. Estas modificaciones tienen como efecto el desajuste de las fechas de cría respecto al estado óptimo del medio. A su vez, la permanencia de plumaje blanco en épocas sin nieve disminuye la capacidad de ocultación y facilita la depredación (SEO/BirdLife, s.f.).

En este contexto, el juego presupone que, aquellas perdices que tengan un plumaje más críptico (marrón) dentro de la población del juego tendrán más facilidad de supervivencia y

reproducción.

Cada grupo comienza con una población inicial homogénea de perdices con plumaje blanco (genotipo Aa) que refleja la situación de partida de la especie antes del retroceso de los glaciares, puesto que la perdiz nival está adaptada a un entorno cubierto de nieve y sus plumajes son blancos durante gran parte del año. Mediante la combinación de mutaciones aleatorias, eventos ambientales inesperados y la presión de selección natural, la población va evolucionando a lo largo de 5 generaciones.

En cada ronda del juego (una por generación), los jugadores seguirán cuatro fases por ronda:

- i. Cambio ambiental (se saca una carta de evento que puede alterar las condiciones del entorno, como nevadas, calentamiento global o enfermedades)
- ii. Selección natural (solo sobreviven los mejor camuflados según el ambiente)
- iii. Mutación (se lanza un dado para ver si algún individuo sufre una mutación que altere su color)
- iv. Reproducción (las perdices supervivientes se aparean para generar descendencia con nuevas combinaciones genéticas).

El juego enfatiza en que la evolución no tiene un objetivo ni dirección fija, y permite reflexionar sobre conceptos fundamentales como la deriva genética, la adaptación, el papel del entorno, la conservación de especies y el impacto humano sobre los ecosistemas.

II. Materiales y reglas del juego

A. Materiales necesarios

- Fichas de individuos (numeradas y con genotipo).
- Bolsa opaca para guardar las fichas en cada ronda.
- Dados.
- Mazo de cartas de condiciones ambientales.
- Tabla de registro por grupo.
- Tabla de cruce Mendeliano.
- Hoja de seguimiento por generaciones.

B. Reglas y consideraciones importantes para el juego (Tabla 3)

En el **anexo I** figura la tabla o ficha que los alumnos deben rellenar y un ejemplo de ficha resuelta con una partida compuesta por 5 rondas. En este mismo anexo figura un diseño de las cartas y fichas.

Tabla 3. Reglas y consideraciones del juego.

Fuente: elaboración propia.

Reglas y consideraciones del juego
<p><u>Composición inicial de la población y situación ambiental de partida.</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Cada grupo parte con una población de 8 individuos: 4 machos y 4 hembras.• Todos tienen genotipo Aa (fenotipo: blanco).• Relación genotipo-fenotipo: el alelo “A” es dominante sobre a. “A” codifica para color blanco y “a” para color marrón. El color marrón solo se aprecia en el fenotipo si el genotipo es “aa”• Solo el color del plumaje (derivado del genotipo) afecta a la supervivencia o reproducción.• En la primera ronda la situación ambiental es de nevadas, aún no ha habido efecto de cambio climático. Por esto, la población de perdices es de fenotipo blanco.• Las mutaciones beneficiosas son las que acercan el fenotipo de la perdiz a un fenotipo marrón por la previsión de montañas sin nieve debido al cambio climático.
<p><u>Duración</u></p> <ul style="list-style-type: none">• El juego tiene una duración de 5 generaciones o rondas. En la primera ronda solo se llevan a cabo las fases de mutación y reproducción.• En caso de extinción total en un grupo, el docente puede reintroducir 2 individuos Aa para continuar (1 macho y 1 hembra)
<p><u>Consideraciones importantes</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Las perdices no sobreviven más de una generación: se asume un modelo simplificado donde solo las crías pasan a la siguiente generación.• El objetivo no es ganar, puesto que cada grupo obtendrá resultados distintos, sino observar cómo cambian las frecuencias genotípicas y fenotípicas en función del entorno y el azar.• Se fomenta la reflexión en grupo al final de cada generación.• Si ocurre una alopatria en una ronda en la que solo quede una pareja de supervivientes, cada superviviente queda en un subgrupo distinto, pero a cada grupo se le asigna una pareja de genotipo Aa.• Si en alguna ronda se produce una extinción total se introducirán dos individuos, un macho y una hembra de genotipos Aa. Y si en una ronda solo sobrevive un individuo, se introduce un individuo Aa del sexo contrario para que pueda reproducirse.• En cada ronda tiene que haber siempre una relación de 1/1 hembras y machos.• La fase de cambio de condiciones solo ocurre en las rondas impares.

Explicación del juego

El juego tiene 5 generaciones o rondas, en cada ronda ocurren siempre todas las fases (Tabla 4) en orden (cambio ambiental, selección natural, mutación y reproducción), aunque hay dos excepciones a esta premisa:

- a) La fase de cambio de condiciones del medio no ocurre en todas las rondas, solo ocurre en las rondas impares, es decir, en la 3 y en la 5.
- b) En la primera ronda no se saca carta ambiental, por defecto es la carta de nevadas para todos los grupos.

Tabla 4. Fases de una ronda y explicación de las mismas.

Fuente: elaboración propia.

<p style="text-align: center;">FASE 1: Cambio de condiciones del medio (Carta ambiental). SOLO EN RONDAS IMPARES.</p> <p>Se levanta una carta aleatoria del mazo de condiciones ambientales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nevadas: las montañas se llenan de nieve, favorece fenotipo blanco. Genotipo AA y Aa • Calentamiento global: la nieve se retira de las montañas, favorece fenotipo marrón.(aa) • Enfermedad: muere el 50 %de la población (al azar) pero respetando la relación de 50/50 entre sexos en los supervivientes. • Alopatría (estación de esquí): la población se divide en dos subgrupos aleatorios que evolucionan por separado, el grupo de 4 personas se divide en 2. A partir de este momento, cada población sigue las etapas de las rondas de manera independiente, el grupo debe avisar al profesor para dar los materiales necesarios (dado, bolsa...). Solo puede haber una carta de alopatría por grupo de juego. • Simpatría (desmantelamiento de la estación de esquí): si antes hubo alopatría, se reunifican las poblaciones. Esta carta solo tiene efecto si ha habido antes alopatría, si sale sin que antes haya habido alopatría se coge otra carta y se barajea el montón resultante. Solo puede haber una carta de simpatría por grupo. <p>Si la carta que ha salido es alopatría o simpatría se mantienen las condiciones ambientales que estuviesen vigentes en la ronda anterior.</p>	<p style="text-align: center;">FASE 3: Mutación en la línea germinal de un individuo.</p> <p>La mutación solo ocurre en un individuo superviviente por ronda, y siempre ocurre. Se asume que la mutación cambia el genotipo de toda la línea germinal del individuo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se introducen todas las fichas de los individuos de presente generación en la bolsa • Se extrae al azar una ficha de la bolsa, que representa al individuo que vera cambiada el genotipo de su línea germinal. • Se lanza un dado: <ul style="list-style-type: none"> ○ 1: Mutación perjudicial (un alelo "a" pasa a "A") → El individuo se vuelve más blanco. ○ 2-5: Mutación neutra (no hay cambio). ○ 6: Mutación beneficiosa (un alelo "A" pasa a "a") → El individuo puede volverse más marrón. <p>Si la mutación ha sido de tipo perjudicial o beneficiosa para la situación ambiental imperante en ese momento se cambia la ficha por el genotipo correspondiente y se mantiene el género del mismo.</p>
<p style="text-align: center;">FASE 2: Selección natural</p> <p>Dependiendo del entorno, solo sobreviven los individuos mejor camuflados provenientes de la generación anterior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Con nieve: sobreviven blancos (Aa, AA). • Sin nieve: sobreviven marrones (aa). • Al final de esta fase se eliminan las fichas de los individuos que mueren por no tener buen camuflaje. 	<p style="text-align: center;">FASE 4: Reproducción</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los individuos (genotipos) supervivientes se emparejan al azar. Mediante la bolsa se coge al azar individuos hasta que, de manera consecutiva, sale una hembra y un macho que quedan emparejados. • Cada pareja tiene 2 crías (1 macho y 1 hembra) con genotipo resultante de la combinación Mendeliana. Para seleccionar los descendientes se meten en la bolsa los posibles genotipos derivados del cruzamiento de una pareja, es decir, 4 fichas en total, y se cogen dos (1 macho y 1 hembra) • Cada generación elimina a los progenitores. • Solo las crías pasan a la siguiente generación.

5.1.5. Desarrollo de la intervención

La intervención didáctica 1 se diseña para ser completada en tres sesiones en el aula.

Sesion 1. Explicación del juego y desarrollo de la primera ronda.

Duración: 55 minutos. 30' de explicación y 25' de juego

- **Explicación del juego y ronda de prueba:** en los primeros minutos de la sesión se explica el juego y se divide a los alumnos en grupos de 4, cada grupo deberá escoger un nombre de grupo. Una vez divididos se reparte a cada grupo los materiales necesarios, y se les explica cómo deben rellenar la ficha del juego y que deben exponer los resultados en la siguiente sesión.

Como el juego involucra muchos conceptos y actividades distintas el profesor hace con toda la clase un par de rondas del juego y completa en la pizarra la ficha.

- **Desarrollo de la primera ronda en grupos separados:** en los 25' restantes los grupos hacen la primera ronda del juego, si van rápido pueden hacer la segunda ronda. El profesor resuelve dudas por grupo o de la clase en general.

Sesion 2. Se completa una partida del juego.

Duración: 55 minutos

- **Juego:** se dedica toda la sesión a hacer el juego. El profesor resuelve las dudas sobre los cruzamientos mendelianos o sobre los eventos de alopatría.
- **Explicación de la exposición de la siguiente sesión:** el profesor explica que cada grupo debe explicar en la pizarra los resultados que han obtenido y razonar como ha ido cambiando su población. Los grupos dedican un tiempo al final para ver qué resultados obtienen y diseñar una manera de exponerlo en la próxima sesión.

Sesion 3. Exposición de resultados y reflexión final.

Duración: 55 minutos. Exposición 42' y reflexión 10'

- **Exposición de resultados:** cada grupo dispone de 7 minutos para exponer en la pizarra los resultados de manera resumida. Cada alumno expone una ronda. El grupo debe hacer un resumen de lo obtenido por ronda y los resultados de la ronda final.

- **Reflexión final:** al finalizar las exposiciones, el profesor guía una reflexión sobre los objetivos didácticos de la actividad utilizando preguntas de reflexión sobre el juego:
 - ¿Qué relación has observado entre los genotipos y los fenotipos de las perdices?
 - ¿Qué papel han jugado las mutaciones en el devenir de tu población?
 - ¿Cómo ha influido el azar en el desarrollo evolutivo de tu grupo? ¿Todo ha sido consecuencia de la selección natural?
 - ¿En qué se diferencia el fenotipo Aa del fenotipo aa en términos de supervivencia según el ambiente?
 - ¿Crees que una mutación siempre implica una mejora? ¿Por qué?
 - ¿Cómo ha cambiado la población de perdices a lo largo de las generaciones?
 - ¿Qué condiciones ambientales favorecieron a las perdices blancas? ¿Y a las marrones?
 - ¿Qué ejemplo del juego te ayudó a entender mejor cómo funciona la selección natural?
 - ¿La evolución tiene una dirección o un objetivo final? Explica tu respuesta con un ejemplo del juego.
 - ¿Qué ocurrió en tu grupo cuando se produjo la alopatría? ¿Evolucionaron igual los dos subgrupos?
 - ¿Qué pasó cuando se produjo la simpatría (si ocurrió)? ¿Qué diferencias encontraste entre las subpoblaciones?
 - ¿Cómo crees que afecta el cambio climático a la supervivencia de especies como esta en el mundo real?

5.2. Intervención 2: Practica interdisciplinar: la batalla contra las bacterias

La intervención didáctica 2 combina sesiones expositivas en aula y sesiones de practica en laboratorio. La metodología activa es predominante durante las sesiones para posibilitar un aprendizaje basado en indagación y experiencial. Se desarrolla a lo largo de 4 sesiones:

- Sesión 1: Explicación de conceptos previos.

- Sesión 2: Comienzo de la práctica “La batalla contra las bacterias”. Siembra y preparación de soluciones con antibiótico
- Sesión 3: Selección de bacterias gram +, siembra y aplicación de discos de antibiótico para el antibiograma.
- Sesión 4: Discusión de resultados y reflexión.

5.2.1. Metodología

Para el diseño de la práctica de laboratorio se utiliza como modelo la metodología propuesta en “La microbiología medica en el laboratorio de educación secundaria: el antibiograma” (López Pérez, J. P., & Boronat Gil, R., 2018). A partir de lo descrito por estos autores se realizan modificaciones en la metodología, temporalización, reflexión y evaluación de la práctica para adaptarla al contexto de las prácticas y del objetivo de este trabajo.

Esta intervención, con sus 4 sesiones, ha sido puesta en práctica durante el prácticum de intervención de este mismo curso con alumnos de 1º de bachillerato en la asignatura de Biología, Geología y Ciencias Ambientales, para poder probar la viabilidad de la metodología con un grupo real de alumnos. Con este grupo se ha realizado la práctica con éxito y se han tratado los contenidos curriculares del bloque de microorganismos y formas acelulares, además de algunos de los objetivos didácticos que figuran en este trabajo.

Los grupos de trabajo en las sesiones de laboratorio de esta intervención se componen de dos alumnos.

5.2.2. Objetivos didácticos

El objetivo principal es trabajar un proceso abstracto y temporalmente inabarcable: la evolución biológica de los organismos. Con esta práctica, la evolución se aborda como un fenómeno observable en la vida cotidiana: la resistencia bacteriana. Para este objetivo general se integran conocimientos de microbiología, farmacia, química, medicina o genética, y se plantean los siguientes objetivos didácticos:

- Desarrollar el pensamiento crítico y el método científico para resolver o reflexionar sobre las situaciones planteadas en el laboratorio.
- Desarrollar habilidades básicas de manejo en el laboratorio: condiciones de asepsis, técnicas de cultivo microbiológico, manejo de material, identificación de especies.
- Comprender el funcionamiento de los antibióticos y su efecto sobre las bacterias sensibles y resistentes. Conocer el procedimiento experimental de un antibiograma y su utilidad para la salud pública.
- Interpretar los resultados de un antibiograma en función del crecimiento bacteriano y la inhibición por antibióticos. Interiorizar el concepto de concentración mínima

inhibitoria y su relación con la dosis recetada por un médico.

- Entender los mecanismos genéticos por los que se puede generar resistencia bacteriana a los antibióticos, incluyendo la mutación y la transferencia horizontal de genes (conjugación, transformación, transducción).
- Relacionar la evolución bacteriana con la selección natural y la hipótesis de la reina roja, ejemplificando cómo las bacterias resistentes sobreviven y se multiplican en presencia de antibióticos, y como la presión selectiva facilita la fijación de caracteres por evolución direccional.
- Reflexionar sobre el uso responsable de los antibióticos y las implicaciones sanitarias y sociales de las resistencias.

5.2.3. Competencias

Las competencias que se trabajan en esta intervención 2, en relación con la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO, están en coherencia con 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 (Tabla 5).

Tabla 5. Competencias y criterios de evaluación de la segunda intervención.

Fuente: elaboración propia.

Competencias clave	Competencias específicas	Criterios de evaluación	Indicadores de logro		Descriptorios operativos	Objetivos de etapa
STEM CPSA CC CE	CE1	1.1, 1.2, 1.3	1.1.1, 1.2.1, 1.2.3, 1.3.2	1.1.2, 1.2.2, 1.3.1,	CCL1, CCL2, STEM2, CD1, CD2, CPSAA4, CE1	a, b, e, f, g
	CE3	3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6	3.1.1, 3.3.3, 3.6.1	3.2.1, 3.4.1,	STEM1, STEM2, STEM3, CD2,CD3, CPSAA4, CE1	a, b, c, f, g
	CE4	4.1, 4.2	4.1.1, 4.1.4, 4.2.2, 4.2.3	4.1.3, 4.2.1,	STEM1, STEM2, CD2, CD5, CE1, CE3, CCEC4	a, c, f
	CE5	5.1, 5.2, 5.4	5.2.1, 5.4.1	5.2.2,	STEM5, CD4, CPSAA2, CC4, CE1	a, f, g, o

5.2.4. Materiales

Para el desarrollo de la intervención 2 se utilizan una serie de materiales específicos de aula y laboratorio:

- Aula:
 - Pizarra: para llevar a cabo las explicaciones y dibujos sobre los procesos de transferencia horizontal bacteriana y para explicar cómo proceder en la siembra de la placa Petri.
 - Pizarra digital (opcional): mismo cometido que la pizarra, dando mayor comodidad y rapidez.
- Laboratorio
 - Pipeta de 10 ml
 - Bombas de succión para pipetas
 - Tubos falcon de 15 ml o tubos de ensayo
 - Gradilla
 - Hisopos de limpieza de oídos estériles.
 - Palillos de madera estériles.
 - Mechero bunsen
 - Placas Petri estériles de 90 mm con medio de cultivo sólido (2 por grupo)
 - Agua de grifo
 - Antibiótico de uso común (Amoxicilina)
 - Papel de filtro de laboratorio
 - Perforadora de oficina
 - Papelfilm
 - Incubadora que alcance mínimo 37°C.
 - Pinzas
 - Rotuladores de vidrio
 - Laboratorio con poyatas y con fuentes de agua.

- Mortero
- Papel de aluminio
- Regla con escala en mm.

5.2.5. Desarrollo de la intervención

La intervención 2 comprende 4 sesiones que se describen en este apartado:

1º Sesión (Aula). Explicación de conceptos previos.

Duración: 50 minutos.

Esta sesión es introductoria. Mediante una metodología expositiva se explican conceptos básicos como selección natural, selección direccional, hipótesis de la reina roja, y los conceptos específicos relacionados con la evolución bacteriana como la mutación o la transferencia vertical y horizontal de genes.

2º Sesión (Laboratorio). Comienzo de la práctica “La batalla contra las bacterias”. Siembra y preparación de soluciones con antibiótico.

Duración: 50 minutos. Agrupamiento y presentación 15' y práctica de laboratorio 35'

Agrupamiento: los alumnos se agrupan por parejas para realizar la práctica. Esta disposición obedece tanto a fines didácticos, los alumnos aprenden a cooperar, escuchar al compañero y trabajar en equipo, como con fines económicos, puesto que el gasto en fungibles es menor.

Presentación de la primera parte de la práctica: mediante una diapositiva (Figura 1) se explica los pasos que se deben completar durante las dos sesiones prácticas. Para realizar esta sesión, cada grupo recibe un protocolo en un folio (Tabla 6) con las indicaciones para realizar la siembra y las diluciones de antibiótico. Junto a esto el profesor entrega una placa Petri de 90 mm con medio sólido LB o PDA a cada grupo.

Práctica: La batalla contra las bacterias



- 1.- Siembra de microorganismos:** mediante las yemas de los dedos o dejando abierta la placa.
Sembrar microorganismos objeto de estudiar en un **medio de cultivo**.
Se usa el **medio sólido de cultivo LB** o caldo de lisogenia mezclado con agar. Este medio es un **medio de cultivo enriquecido ideal para el crecimiento bacteriano**.
Crecimiento a temperatura ambiente más de 48 horas.
- 2.- Aislamiento de colonias de interés (Colonias gram +)**
Se seleccionan las colonias que parecen gram +, las colonias amarillas (*Micrococcus luteus*) y blancas (*Staphylococcus sp.*)
Se lleva a cabo una extensión de las colonias por agotamiento en placa mediante el uso de bastoncillos de madera y de oídos.
- 3.- Aplicación de antibióticos. Antibiograma.**
Mediante unas pinzas, cada grupo coloca un par de discos de inhibición de crecimiento. Los discos llevarán impregnados distintas concentraciones de antibiótico.
- 4.- Observación de crecimiento bacteriano y halos de inhibición.**

Figura 1. Diapositiva para la explicación de la práctica de laboratorio.

Fuente: elaboración propia.

- **Practica de laboratorio (2° sesión). Siembra de microorganismos y diluciones de antibiótico**

Tabla 6. *Protocolo de siembra de microorganismos y diluciones de antibiótico*

Fuente: elaboración propia

A) Fase de siembra de microorganismos	
Procedimiento	Material necesario
<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparar placas Petri de 90 mm con medio de cultivo sólido (PDA o LB). 2. Arrastrar suavemente la yema de los dedos sobre la superficie del medio sin ejercer presión que pueda dañar el agar. 3. Como alternativa, dejar algunas placas abiertas al aire durante un periodo determinado. 4. Rotular cada placa indicando tipo de siembra, fecha y otros datos relevantes. 5. Incluir controles: <ol style="list-style-type: none"> a) Control negativo: placa sin abrir. b) Control de higiene: siembra tras lavado exhaustivo de manos. 6. Incubar las placas en posición invertida. 7. Mantener la incubación durante 24 horas a 37 °C en estufa o 48 horas a temperatura ambiente, según la disponibilidad temporal para la sesión siguiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Placas Petri con medio PDA o LB sólido - Rotulador indeleble - Estufa
B) Fase de preparación de diluciones de antibiótico	
Procedimiento	Material necesario
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pulverizar media pastilla de amoxicilina con un mortero. 2. Disolver el polvo obtenido en 15 ml de agua destilada estéril en un vaso de precipitados o bote de cristal. 3. Filtrar la disolución con papel de filtro si es necesario. 4. Calcular la concentración inicial de la disolución. 5. Preparar tres diluciones seriadas en tubos Falcon o de ensayo, utilizando pipetas: <ol style="list-style-type: none"> a) Tomar un volumen conocido de la disolución madre y diluir en agua estéril. b) Repetir el proceso para las siguientes diluciones. 6. Tapar los tubos con papelfilm o con sus respectivos tapones. 7. Homogeneizar las disoluciones agitando suavemente para asegurar la disolución completa del antibiótico. 8. Conservar las disoluciones a temperatura ambiente y protegidas de la luz hasta su uso al día siguiente. 9. Registrar concentraciones, volúmenes utilizados y cálculos efectuados. 	<ul style="list-style-type: none"> - 1/2 pastilla de amoxicilina - Mortero - Vaso de precipitados o bote de cristal - Agua destilada estéril - Papel de filtro - 4 tubos Falcon o tubos de ensayo de 15 ml - Gradilla para tubos - Pipeta de 10 ml - Bomba de succión - Papelfilm o tapones - Calculadora - Cuaderno o plantilla de registro

3º Sesión (Laboratorio). Selección de bacterias gram +, siembra y aplicación de discos de antibiótico para el antibiograma.

Duración: 50 minutos. Explicación inicial 10' y practica de laboratorio 40'

- **Explicación inicial:** mediante la diapositiva usada en la anterior sesión (Figura 1) se recuerda los siguientes pasos de la práctica. Para explicar la selección de gram + se usa otra diapositiva (Figura 2), y para explicar el procedimiento que se sigue para sembrar las placas se utiliza la pizarra de tiza. Antes de comenzar la práctica, a cada grupo se le entrega un protocolo en un folio (Tabla 7) con el protocolo, y la placa que sembraron el día anterior.

□ Práctica : La batalla contra las bacterias

- **Bacterias Gram positivas que han podido crecer en el medio LB**
 - 1. Staphylococcus spp.** (como *S. epidermidis* y *S. aureus*): comunes en la piel.
 - 2. Micrococcus spp.:** también residentes de la piel, suelen formar colonias amarillas o rosadas.
 - 3. Bacillus spp.:** bacterias formadoras de esporas ubicuas en el ambiente.
- **¿Cómo distingo unas de otras?**
 - A. Color de la colonia:**
 - *Micrococcus luteus*: colonias amarillas.
 - *Staphylococcus aureus*: colonias doradas.
 - *Staphylococcus epidermidis*: colonias blancas o crema.
 - *Bacillus spp.*: generalmente blancas a opacas.
 - B. Textura y forma:**
 - *Staphylococcus spp.*: colonias redondas, brillantes y lisas.
 - *Bacillus spp.*: colonias más rugosas, irregulares o con bordes filamentosos debido a la esporulación.

Figura 2. Diapositiva para explicar el proceso de selección de colonias

Fuente: elaboración propia

- **Practica de laboratorio (3º sesión). Selección de colonias y aplicación de antibiograma.**

Tabla 7. *Protocolo de selección de colonias y aplicación de antibiograma*

Fuente: elaboración propia

C) Selección y siembra de colonias gram + en una nueva placa	
Procedimiento	Material necesario
1. Dividir la base de una nueva placa Petri en cuatro secciones iguales con un rotulador, numerándolas. 2. Observar las colonias desarrolladas en la placa inicial y seleccionar colonias siguiendo las indicaciones de la Figura 2. 3. Encender un mechero Bunsen para crear un área de trabajo estéril. 4. Recoger con un palillo de madera estéril una colonia seleccionada. 5. Transferir la colonia a una nueva placa de medio LB o PDA. 6. Realizar una siembra por agotamiento utilizando un palillo de los oídos estéril. 7. Cerrar e incubar la placa según los parámetros establecidos para crecimiento bacteriano.	Placas Petri con medio LB o PDA Rotulador indeleble Mechero Bunsen Palillos de madera estériles Palillos de los oídos estériles
D) Aplicación de antibiograma a las placas recién sembradas	
Procedimiento	Material necesario
1. Fabricar discos de papel de filtro utilizando una perforadora de oficina. 2. Entregar cuatro discos de papel de filtro a cada grupo. 3. Homogeneizar los tubos con las diluciones de antibiótico preparados previamente. 4. Sumergir los discos en las soluciones de antibiótico correspondientes utilizando pinzas. 5. Colocar un disco en cada una de las cuatro secciones de la placa Petri con cuidado, evitando el goteo. 6. Rotular la base de la placa indicando la especie bacteriana sembrada y las siglas del grupo. 7. Incubar las placas a 37 °C durante 24 horas.	Papel de filtro Perforadora de oficina Pinzas estériles Tubo con diluciones de antibiótico Placas Petri sembradas por agotamiento Rotulador indeleble Estufa de incubación a 37 °C

Sesion 4 (Aula). Discusión de resultados y reflexión.

Duración: 50 minutos. Discusión 15' y análisis de resultados + ficha evaluable 35'

- **Discusión:** antes de entregar a los alumnos las placas con el antibiograma se hace

en clase una reflexión grupal en la que se fomenta la participación de los alumnos para responder distintas cuestiones:

- ¿Por qué creéis que unas bacterias resisten más que otras?
 - ¿Qué pasaría si usamos antibióticos de forma indiscriminada?
 - ¿Qué implicaciones tiene esto en hospitales, ganadería, o en nuestro día a día?
 - ¿Qué resultados creéis que vamos a obtener?
 - ¿Para qué hemos seguido algunas medidas de asepsia como trabajar con elementos estériles o bajo el mechero bunsen?
 - ¿Qué resultados habrá dado las placas con diferentes condiciones, como el control negativo? ¿Por qué creéis que es importante incorporar estas condiciones?
- **Resultados y ficha evaluable individual:** se entregan las placas con los resultados del antibiograma para su análisis a cada grupo (Figura 3). Se proporciona un tiempo de observación destinado a que el alumnado examine los resultados obtenidos a partir de sus propias diluciones. Dado el grado de dificultad técnica del procedimiento, es esperable que únicamente algunos grupos presenten halos de inhibición claramente diferenciados en relación con las distintas concentraciones del antibiótico.

Durante esta fase se solicita al alumnado que:

1. Mida el diámetro de los halos de inhibición con una regla graduada.
2. Reflexione sobre la posible relación entre el tamaño del halo y la concentración del antibiótico aplicada.
3. Estime el tamaño de un halo de inhibición hipotético correspondiente a una concentración intermedia entre las aplicadas en los discos 2 y 3, con ayuda de una representación gráfica (recta patrón).
4. Complete una ficha de evaluación teórico-práctica, que será entregada de manera individual, aunque su realización puede realizarse en colaboración con el compañero o compañera de grupo (Anexo II). Dicha ficha incluye cuestiones relacionadas con:
 - La comprensión de los fundamentos teóricos de la práctica.
 - El análisis crítico de los errores cometidos.

- La interpretación de los resultados obtenidos.
- La aplicación del método científico para formular hipótesis y extraer conclusiones.

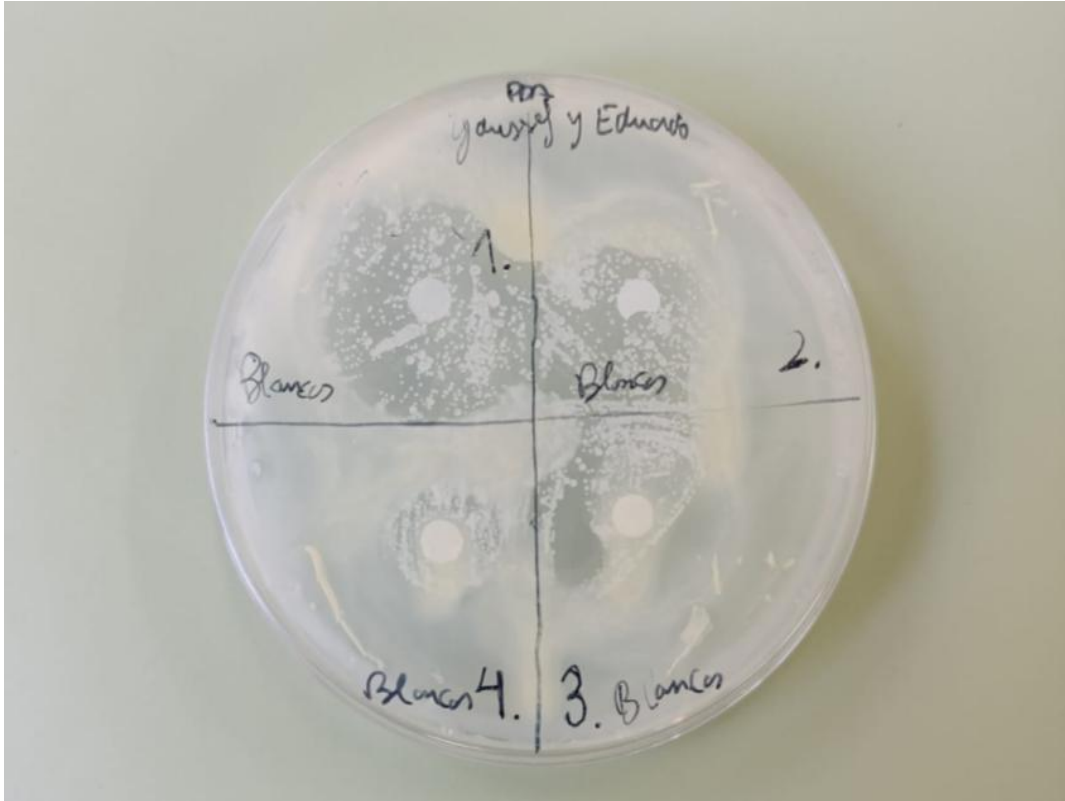


Figura 3. Resultados del antibiograma en una placa de PDA

Fuente: elaboración propia.

5.3. Intervención 3: Gymkana evolutiva: "Tras las huellas de nuestros ancestros" en el Museo de Evolución Humana (MEH)

La intervención didáctica 3 consiste en una salida didáctica al Museo de la Evolución Humana (MEH) de la ciudad de Burgos. La actividad se diseña para ser llevada a cabo en una única sesión de 2,5 horas.

Esta salida está planteada para hacerse tras haber dado en clase gran parte de los contenidos correspondientes al módulo de evolución y genética, especialmente los contenidos relativos a las teorías evolutivas de la asignatura de Biología y Geología del curso de 4º de la ESO. De esta forma, los alumnos parten con conocimientos previos que les ayuden a disfrutar más de la experiencia.

5.3.1. Metodología

En la intervención 3 se diseña la actividad titulada “Gymkana evolutiva: Tras las huellas de nuestros ancestros”, híbrida entre Gymkana y el juego del Cluedo.

Cluedo es un juego de deducción en el que se debe descubrir quién cometió un asesinato, con qué arma y en qué lugar. Para ello, se reparten cartas entre los jugadores que descartan posibles opciones, mientras una combinación secreta se mantiene oculta. A lo largo del juego, se formulan hipótesis y se recopila información a través de la lógica y el descarte, con el objetivo de identificar correctamente los tres elementos del crimen antes que el resto de los participantes.

La actividad titulada “Tras las huellas de nuestros ancestros” sigue una estructura basada en la resolución de enigmas (Tarjeta de identificación, Figura 4) a partir de la recopilación progresiva de información (ficha, tabla 9), lo que favorece el desarrollo del pensamiento lógico y la capacidad de deducción. Siguiendo la metodología del juego del Cluedo, se plantea el desafío, que en esta actividad consiste en identificar las distintas especies de homínidos en base a una pista. Esto requiere del análisis de pistas, la formulación de hipótesis y la toma de decisiones fundamentadas, promoviendo así la implicación activa de los participantes.

En esta intervención se utiliza la metodología activa basada en la gamificación y el aprendizaje por descubrimiento guiado, para diseñar una actividad que permita aumentar la motivación por el conocimiento del proceso de hominización. Con el propósito de fomentar la reflexión sobre la importancia de la ciencia en la región, la mayoría de los homínidos incluidos en la actividad están vinculados con hallazgos realizados en los yacimientos de la sierra de Atapuerca: *Homo neanderthalensis*, *Homo heilderbergensis*, *Homo antecesor*, *Homo habilis*, *Homo erectus*.

Con el objetivo de fomentar la implicación activa del alumnado y garantizar una participación equitativa en la actividad, la intervención se diseña para establecer un pódium con los tres equipos que logren identificar correctamente un mayor número de especies, a

los cuales se les otorgará una bonificación en la calificación de la asignatura. Esta medida, si bien introduce un componente competitivo, no persigue como finalidad principal la rivalidad entre grupos, sino que busca incrementar el interés por la actividad, favorecer el análisis individual y colectivo de cada prueba, y minimizar la posibilidad de reproducción de respuestas entre equipos, promoviendo así una reflexión autónoma y rigurosa por parte de todo el alumnado.

La actividad se diseña para ser realizado para una clase de Biología y Geología de 4º de la ESO de 25 personas. El juego se realiza en grupos de 5 personas.

5.3.2. Objetivos didácticos

La intervención 3 se diseña con los siguientes objetivos didácticos:

- Trabajar los contenidos del currículo sobre el proceso de hominización.
- Revelar al alumnado la importancia y cercanía de la ciencia a través de la visita a los hallazgos fósiles de la Sierra de Atapuerca (Burgos), considerados clave a nivel mundial para el conocimiento de nuestros orígenes.
- Desarrollar competencias de trabajo cooperativo, comunicación y resolución de problemas.
- Observar y estudiar en el MEH evidencias reales del pasado humano, fomentando una conexión directa entre teoría científica y patrimonio arqueológico.
- Reconocer evidencias anatómicas y genéticas que apoyan la teoría de la evolución, como la comparación de cráneos, herramientas líticas, postura bípeda o análisis de ADN.
- Analizar la evolución humana como un proceso de cambio gradual, a veces discontinuo, en el que influyen factores genéticos, ambientales, sociales y culturales.
- Fomentar la curiosidad científica y el pensamiento crítico al contrastar información disponible en el museo con las hipótesis y deducciones generadas por el propio alumnado.

5.3.3. Competencias

Las competencias que se trabajan en la intervención 3, en relación con la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO, están en coherencia con 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 (Tabla 8).

Tabla 8. Competencias y criterios de evaluación de la tercera intervención.

Fuente: elaboración propia

Competencias clave	Competencias específicas	Criterios de evaluación	Indicadores de logro	Descriptorios operativos	Objetivos de etapa
CCL CD CPSA CCC	CE1	1.1	1.1.1, 1.1.2,	CCL1,	a, b, e
		1.2	1.2.1, 1.2.2,	CCL2,	
		1.3	1.2.3, 1.3.1,	STEM2,	
			1.3.2	CD1, CD2,	
				CE1	
CCL CD CPSA CCC	CE2	2.1	2.1.1, 2.1.2,	CCL2, CCL3,	a, c, g
		2.3	2.1.3, 2.3.1,	CD1,	
			2.3.2, 2.3.3	CD4,CD5,	
				CPSAA4,	
				CC3, CE1	
CCL CD CPSA CCC	CE5	5.2	5.2.1, 5.2.2,	CPSAA2,	f, g, o
		5.4	5.4.1	CC4, CE1	

5.3.4. Descripción y desarrollo de la actividad

La actividad se organiza en forma de gymkana y está diseñada para ser realizada en grupos cooperativos de 5 alumnos, en un total de 2,5 horas. Su desarrollo se estructura en las siguientes fases:

1. **Recepción de la pista inicial:** cada grupo, de 5 alumnos, recibe las 5 tarjetas de identificación de especies. Cada una de estas tarjetas contiene pistas para la identificación de un homínido diferente en forma de una descripción abstracta con palabras clave (Figura 4, anexo III). Además, cada una de las tarjetas lleva asociada una ficha, que se les entrega en un folio, con información que deben rellenar sobre ese homínido (tabla x, anexo III).
2. **Desarrollo de la Gymkana:** el objetivo es que cada grupo identifique correctamente el homínido y complete las fichas.
3. **Justificación y reflexión:** los grupos deben utilizar la información recogida en el museo para argumentar oralmente, y de forma razonada, la identidad del homínido asignado y

las preguntas y misiones de las fichas, completando así el trabajo de investigación propuesto en la gymkana.

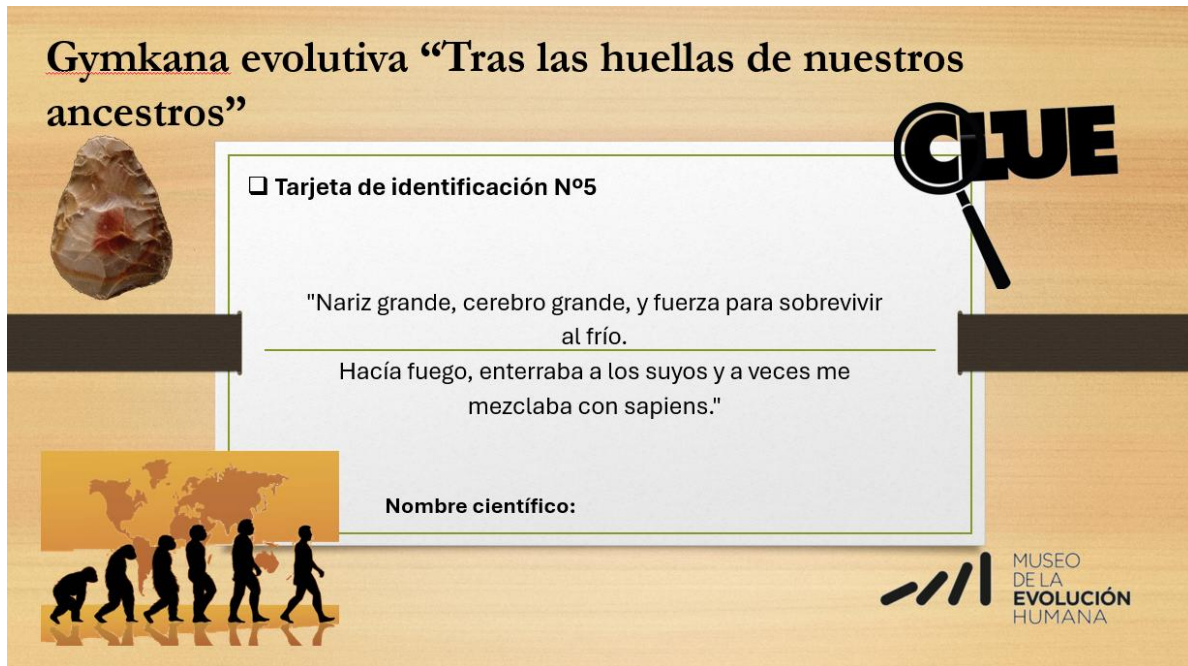


Figura 4. Ejemplo de tarjeta de identificación para la actividad del MEH. (Tarjeta para *Homo neanderthalensis*)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Ejemplo de ficha para la actividad del MEH. (Ficha para *Homo neanderthalensis*)

Fuente: elaboración propia.

<ul style="list-style-type: none"> • Busca y fotografía en el museo 	<ul style="list-style-type: none"> • Preguntas
<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción facial del Neandertal • Paneles sobre su ADN en humanos actuales • Alguna herramienta lítica (saca una foto) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué porcentaje de ADN compartimos? 2. ¿Por qué se extinguieron? 3. ¿Qué tipo de herramientas fabricaban? 4. ¿Durante qué años habité el planeta?

I. Recepción de la pista inicial

Duración: 5-10 minutos

- **División por grupos:** se forman los grupos de 5 alumnos, se supone una clase de 25 alumnos y un total de 5 grupos. Para fomentar la motivación se les explica que esta actividad cuenta para nota y a los grupos con mayores aciertos se les concede una bonificación en la nota. Cada grupo de 5 alumnos recibe las 5 tarjetas de identificación de los homínidos, y la fichas con las misiones o tareas asociadas a cada tarjeta
- **Introducción al museo:** Una vez dentro del museo se reúne al grupo en la planta -1. A partir del plano oficial del museo (figura 5) se explica las distintas secciones y plantas. El museo se organiza por secciones y plantas, estas se pueden recorrer libremente, accediendo a exposiciones permanentes o temporales. La Gymkana se diseña para que recorran las secciones que contienen los fósiles de la sierra de Atapuerca, los paneles explicativos sobre la evolución de los homínidos o la sección sobre la evolución en términos culturales.

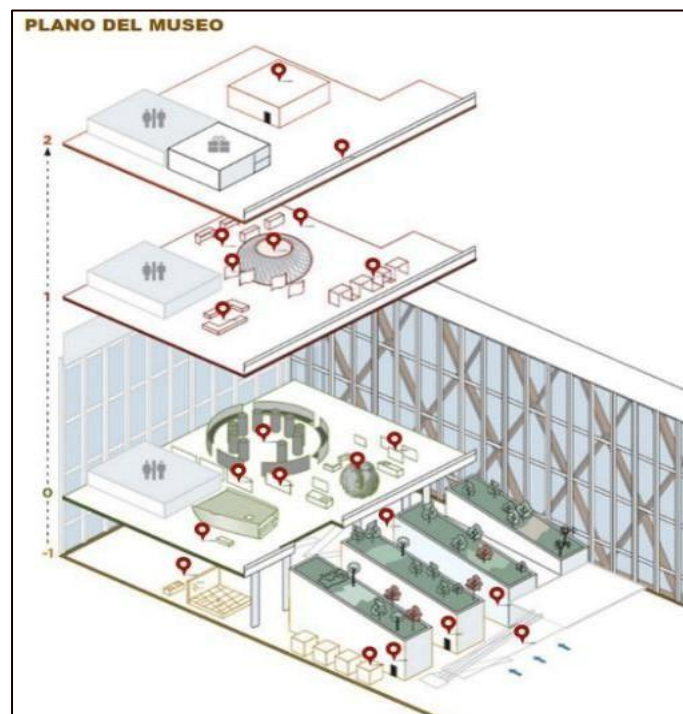


Figura 5. Plano oficial del museo de la evolución humana.

Fuente: web del museo <https://www.museoevolucionhumana.com/es/plano>

II. Desarrollo de la Gymkana

En este apartado se explica cómo se llevaría a cabo el juego y las características de la actividad titulada Gymkana: "Tras las huellas de nuestros ancestros"

Duración: 1.45 horas

- **Dinámica:**

Se explica la práctica y se les define el tiempo que tienen para realizarla (1.45 horas). En ese tiempo, además de tiempo para hacer la práctica se contempla tiempo extra para descansar o investigar otras partes del museo.

Durante la gymkana los grupos recorren las salas del museo en busca de las misiones que se les pide en cada ficha (cráneos, herramientas, ambientes, rasgos físicos, datos culturales), su correcta localización junto con la pista de la tarjeta les permite identificar los homínidos de las distintas tarjetas.

La dinámica mezcla gamificación con aprendizaje por descubrimiento guiado porque el profesor se desplaza por el museo para resolver dudas que vayan surgiendo o indicar si se han recogido bien o mal las pruebas y tareas.

III. Exposición de resultados

Duración: 30 minutos

Una vez acabado el tiempo, los grupos se reúnen y comienza una exposición grupal de los resultados. Los alumnos se colocan en un semicírculo para que expongan en su interior los resultados al resto.

Los resultados que cada grupo debe conseguir en la actividad son:

- Las 5 tarjetas de identidad, identificando la especie con el nombre científico.
- Las 5 fichas con las tareas y pruebas de cada especie rellenas.
- Imágenes tomadas con el móvil para demostrar que se han encontrado las pruebas solicitadas.

- **Dinámica de exposición**

Para la exposición de los resultados se asigna, de manera aleatoria, a los 5 grupos la exposición de los resultados de un homínido diferente.

- i. Durante la exposición el grupo se presenta al medio del semicírculo para exponer frente al resto.
- ii. El profesor atiende a las pruebas expuestas y si alguna de las pruebas es incorrecta, se abre un turno de réplica para que otro grupo corrija el error.
- iii. Al final de la exposición se les aplaude y se sigue del mismo modo para los siguientes grupos.

- iv. Para concluir, los grupos entregan las tarjetas y las fichas al profesor. En la siguiente sesión en el aula se establece el pódium con los equipos que más aciertos tienen.

6. Evaluación del alumnado

6.1. Evaluación de la intervención N°1

La evaluación de esta intervención está dividida en dos partes que se integran en esta tabla (Tabla 10), se evalúa, por un lado, los resultados expuestos en la ficha del juego, y por otro, la exposición oral de estos resultados. Todos los criterios tienen el mismo valor y la calificación final es sobre 20 puntos. Salvo situación muy concreta a todos los miembros del grupo se les evalúa de forma conjunta.

Tabla 10. Rubrica de evaluación de la intervención 1

Fuente: elaboración propia.

Criterio	Excelente (4)	Bien (3)	Suficiente (2)	Insuficiente (1)
Registro de datos	Datos completos, claros y precisos por generación	Datos casi completos, pocos errores	Datos incompletos o poco claros	Faltan muchos datos o están mal registrados
Comprensión de conceptos evolutivos	Explican correctamente mutación, selección, etc.	Algunos conceptos bien aplicados	Comprensión parcial o confusa	No se comprenden los conceptos clave
Participación y trabajo en grupo	Todos colaboran activamente y respetan roles	Participación moderada del grupo	Participación desigual o mínima	Escasa colaboración o conflicto frecuente
Reflexión final escrita	Reflexión profunda y bien argumentada	Reflexión adecuada, pero algo superficial	Reflexión breve o poco clara	No hay reflexión o no tiene sentido
Exposición oral	Clara, organizada, uso adecuado del vocabulario	Clara, pero con algunos errores	Poca claridad o desorganizada	Confusa, sin estructura ni vocabulario

6.2. Evaluación de la intervención N°2

I. Elementos evaluables de la práctica “La batalla contra las bacterias”

a) Resultados de la práctica y participación (70 %del total)

En esta sección se evalúa la placa de antibiograma final que el grupo analiza en la cuarta sesión. De esta parte se valora:

- Crecimiento de la colonia o colonias y correcta identificación de estas
- Aplicación correcta de los discos de antibiograma, observándose el efecto menor conforme bajamos concentración, con el disco n°4 sin efecto.
- Medición de los halos de inhibición en mm y cálculo del tamaño de un halo de inhibición teórico (recta patrón)
- Participación y buen comportamiento.

b) Ficha de conceptos teóricos evaluable (30 %del total)

Esta ficha se compone 3 grupos de preguntas sobre conceptos teóricos tratados durante la intervención (Anexo II). Estas preguntas son acerca de 3 temas principales:

- Medios de cultivo y técnicas de cultivo.
- Antibiograma y resistencia a los antibióticos.
- Evolución de las bacterias.

Rúbrica general de evaluación de la práctica “La batalla contra las bacterias”

En la siguiente rubrica de evaluación (Tabla 11) se recogen los distintos criterios sometidos a evaluación en alguna de los dos elementos evaluables. La rúbrica se evalúa con un máximo de 20 puntos, pero dado que los resultados de la práctica tienen un valor del 70 %asignado, por el 30 %asignado a la ficha teórica, se multiplicara por 0.7 al total de la puntuación obtenida en los 4 primeros criterios y por 0.3 a la puntuación obtenida en el último de estos criterios.

Tabla 11. Rubrica de evaluación de la intervención 2

Fuente: elaboración propia.

Criterios	Excelente (4)	Bien (3)	Suficiente (2)	Insuficiente (1)
Crecimiento y correcta identificación de colonias (15 %)	Identificación clara y correcta de todas las colonias observadas.	Identificación mayoritariamente correcta, con algún error menor.	Identificación poco precisa o incompleta.	No se identifican correctamente las colonias o hay errores importantes.
Aplicación de discos de antibiograma (15 %)	Disposición adecuada de los discos; patrón claro de efecto decreciente hasta el disco 4.	Disposición correcta, aunque con leves imprecisiones en el patrón.	Disposición algo confusa; patrón de efecto poco claro.	Aplicación incorrecta; no se observa el patrón de disminución del efecto.
Medición y cálculo de halos de inhibición (20 %)	Mediciones precisas y cálculo correcto del halo teórico con uso adecuado de la recta patrón.	Mediciones correctas, aunque el cálculo presenta pequeños errores.	Mediciones o cálculo poco precisos o incompletos.	Errores graves en las mediciones o ausencia de cálculo del halo teórico.
Participación y comportamiento (20 %)	Participación activa y constante, excelente actitud y comportamiento.	Buena participación y actitud en general.	Participación irregular o actitud mejorable.	Falta de participación o comportamiento inadecuado.
Ficha de conceptos teóricos (30 %) Cada pregunta es un 10 %.	Respuestas completas y correctas, uso adecuado del lenguaje científico.	Respuestas mayoritariamente correctas, aunque algo generales.	Respuestas incompletas o con errores conceptuales menores.	Respuestas incorrectas o gran parte de la ficha sin completar.

6.3. Evaluación de la intervención N°3

Rubrica de evaluación de la Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros”

La evaluación de la actividad Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros” utiliza la siguiente rubrica de evaluación hasta un máximo de 20 puntos (Tabla 12)

Tabla 12. Rubrica de evaluación para la intervención 3.

Fuente: elaboración propia.

Crterios	Excelente (4)	Bien (3)	Suficiente (2)	Insuficiente (1)
Contenido de las fichas	Todas las fichas están completas, con respuestas precisas, bien redactadas y con vocabulario científico adecuado.	Casi todas las fichas completas, respuestas correctas, aunque algo generales.	Fichas incompletas o con respuestas superficiales y poco elaboradas.	Varias fichas sin completar o con errores importantes en las respuestas.
Observación en el museo	Las fotografías y anotaciones muestran una observación atenta y rigurosa del entorno expositivo.	Se observa interés y atención, aunque alguna imagen o apunte es irrelevante.	Algunas fotos o elementos no están bien relacionados con las pistas.	Escasa atención o evidencias no relacionadas con los elementos pedidos.
Exposición oral: contenido	Explican la ficha asignada con dominio del tema, conectando datos y usando lenguaje claro y preciso.	Buen conocimiento general del tema, aunque falta profundidad o claridad en algunos puntos.	Contenido escaso o poco claro; se percibe inseguridad en las explicaciones.	No comprenden bien la ficha ni los conceptos, errores importantes.
Exposición oral: expresión y actitud	Voz clara, buena dicción, lenguaje adecuado; uso de recursos visuales y actitud participativa.	Habla comprensible y actitud correcta; tímidos o con lectura excesiva.	Dificultades en la expresión oral o en mantener la atención del grupo.	Muy baja participación, tono inapropiado o falta de interés evidente.
Trabajo en equipo	Trabajo muy bien repartido, todos participan en la elaboración y exposición.	Trabajo mayoritariamente colaborativo, con buena implicación general.	Desigual implicación del grupo, reparto de tareas poco claro.	Falta de coordinación, dependencia de uno o dos miembros del grupo.

7. Conclusión

El presente trabajo tiene como finalidad dar respuesta a los objetivos establecidos inicialmente, orientados a favorecer la comprensión de los procesos evolutivos en el alumnado de 4.º de ESO mediante el diseño de una propuesta didáctica fundamentada en metodologías activas. Para ello, se plantea el desarrollo de tres intervenciones diferenciadas: una basada en el juego (ABJ), otra centrada en la experimentación de laboratorio y una última organizada como una gymkana museística. A través de estas propuestas se generan recursos didácticos originales y viables que facilitan un aprendizaje significativo de la evolución biológica y de los procesos genéticos subyacentes.

Todas las actividades se estructuran con el propósito de superar los principales obstáculos detectados en la enseñanza de este bloque temático, como la persistencia de errores conceptuales o el uso predominante de metodologías expositivas tradicionales. La combinación de dinámicas lúdicas, experiencias experimentales y aprendizaje guiado permite abordar los contenidos desde perspectivas diversas, lo que favorece su comprensión y promueve una actitud crítica y participativa en el alumnado.

Las metodologías activas empleadas se conciben como herramientas eficaces para la transmisión de conocimientos complejos, como los relativos a la evolución. A través del Aprendizaje Basado en Juegos (ABJ), la gamificación, la indagación y la experimentación, se transforma el aula en un espacio dinámico donde el estudiante ocupa un papel activo en su proceso de aprendizaje. Estas metodologías posibilitan la representación de fenómenos abstractos mediante modelos manipulables, a la vez que incrementan la motivación, la implicación y la retención de los contenidos trabajados.

De las tres intervenciones diseñadas, la práctica de laboratorio sobre resistencia bacteriana se adapta a partir de bibliografía existente (López Pérez, J. P., & Boronat Gil, R., 2018). En cuanto a las otras dos intervenciones, aunque no se llevan aún a la práctica, son originales de este trabajo. En todas las propuestas, se adaptan las estrategias metodológicas con el objetivo de facilitar la comprensión de procesos como la selección natural, la mutación, la adaptación o la deriva genética, en coherencia con el currículo y las competencias del nivel educativo correspondiente.

Del análisis de las tres propuestas se desprende su capacidad para promover el desarrollo competencial del alumnado. Todas se conciben para fomentar el trabajo cooperativo, la expresión oral y escrita, la autonomía, la toma de decisiones y la reflexión crítica, de acuerdo con el enfoque competencial que establece el marco normativo vigente. La primera intervención, basada en un juego de simulación, permite aplicar conocimientos de genética mendeliana en un contexto evolutivo. La segunda, centrada en la práctica experimental, potencia las competencias científicas mediante la reproducción de los efectos de la selección natural sobre poblaciones bacterianas. Por su parte, la intervención desarrollada en el MEH, además de reforzar contenidos sobre hominización, estimula el pensamiento crítico, la búsqueda autónoma de información y la transferencia del conocimiento a nuevos contextos.

El diseño, la preparación y la evaluación de estas intervenciones evidencian el esfuerzo que implica la planificación de actividades fundamentadas en metodologías activas. Lejos de limitarse a la sustitución de la clase magistral por dinámicas lúdicas o experimentales, este enfoque requiere un conocimiento profundo de los contenidos, una secuenciación didáctica precisa, una previsión rigurosa de tiempos y recursos, así como una evaluación coherente con los objetivos de aprendizaje. Asimismo, se exige una actitud profesional abierta a la innovación, a la mejora continua y a la reflexión crítica sobre la práctica docente. La apuesta por este tipo de propuestas contribuye, en última instancia, a formar un alumnado más competente, informado y comprometido, conforme a los principios de una educación integral y de calidad.

8. Bibliografía

Alvarez-Herrero, J. F. (2022). Active methodologies among secondary STEM teachers. *Human Review*, 5.

Esteban Gallego, R., Marcos-Merino, J. M., & Gómez Ochoa de Alda, J. (2019). Extracción de ADN con material cotidiano: Diseño, implementación y validación de una intervención activa interdisciplinar. *Educación Química*, 30(1), 42–57.

Fernández Ábalos, J. M., & de la Torre Laso, J. (2024). Las metodologías activas en Educación Secundaria. En *Las metodologías activas en Educación Secundaria* (pp. 21–29). Ediciones Universidad de Salamanca.

López, J. P., & Boronat, R. (2011). El antibiograma. Un recurso en el laboratorio de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 353–357.

López Pérez, J. P., & Boronat Gil, R. (2018). Prácticas de microbiología básica en el laboratorio de Educación Secundaria: una experiencia de 12 años de trabajo.

Marcos-Merino, J. M., Rodríguez-Muñiz, L. J., & Fernández-César, R. (2019). Actitudes hacia la enseñanza de las ciencias en maestros en formación y su relación con experiencias previas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1101.

Museo de la Evolución Humana. (s. f.). Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://www.museoevolucionhumana.com/>

Naciones Unidas. (s. f.). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Molina Vicente, L. (2023). *Integración de metodologías activas y tecnología educativa en la enseñanza de Geografía e Historia: una propuesta competencial para la Educación Secundaria Obligatoria*.

Sánchez, J. S., Conde, M. C., & Zapata, V. (2017). Concepciones alternativas sobre evolución. Un estudio en futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 2219–2224.

SEO/BirdLife. (s. f.). *Lagópodo alpino*. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://seo.org/ave/lagopodo-alpino/#amenazas>

Vázquez-Ben, L., & Bugallo-Rodríguez, A. (2022). Preconcepciones sobre evolución en el alumnado de Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3303.

White, B. Y., Shimoda, T. A., & Frederiksen, J. R. (2013). Enabling students to construct theories of collaborative inquiry and reflective learning: Computer support for metacognitive development. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 61–84.

9. Anexos

9.1. Anexo I. Partida de ejemplo y recursos del juego

A. Tabla con cruzamientos mendelianos:

Tabla 13. *Tabla con los cruces mendelianos para los alumnos.*

Fuente: elaboración propia

Padre/Madre	AA	Aa	aa
AA	100 %AA	50 %AA, 50 %Aa	100 %Aa
Aa	50 %AA, 50 %Aa	25 %AA, 50 %Aa, 25 %aa	50 %Aa, 50 %aa
aa	100 %Aa	50 %Aa, 50 %aa	100 %aa

B. Ejemplo de ficha y partida del juego.

Se presenta un ejemplo de la ficha que resultaría de una partida (Tabla 14), en esta partida ha ocurrido un evento de alopatría en la ronda 3 que hace que se dividan las poblaciones. Los alumnos deberían rellenar esta tabla.

Tabla 14. Ejemplo de una partida de 5 rondas del juego.

Fuente: elaboración propia.

Grupo: Curso: Fecha:					
Ronda	Grupo/Subgrupo	Condición Ambiental	Supervivientes (Genotipos)	Mutación (Individuo + Resultado)	Descendencia (Genotipos)
1	General (sin división)	Nieve (por defecto)	Todos sobreviven (Aa ×8)	Hembra #3 → Aa → aa (beneficiosa)	Aa, AA, Aa, Aa, Aa, aa, Aa, Aa
2	General	Sin cambio	Aa ×7, AA ×1	Macho #2 → Neutra	Aa, aa, AA, Aa, Aa, Aa, Aa, Aa
3	Alopatría	Nieve (ambos grupos)	Grupo A: Aa, AA, Aa Grupo B: Aa ×4	Grupo A: Hembra Aa → AA (perjudicial) Grupo B: Macho Aa → aa (beneficiosa)	A: Aa, AA, Aa, AA B: Aa, AA, aa, Aa
4	Grupo A	Sin cambio	Aa, AA, AA, Aa	Hembra AA → Neutra	Aa, AA, Aa, Aa
4	Grupo B	Sin cambio	Aa, AA, Aa (+1 Aa)	Macho AA → Aa (perjudicial)	Aa, aa, Aa, AA
5	Grupo A	Calentamiento global	Todos eliminados → se reintroducen Aa ×2	Hembra Aa → aa (beneficial)	Aa, aa
5	Grupo B	Calentamiento global	Solo sobrevive hembra aa → se introduce macho aa	Macho aa → Neutra	aa, aa

Resumen del aprendizaje que se puede sacar de esta partida.

- Grupo A experimenta baja adaptación final: aún predominan genotipos Aa en un ambiente sin nieve.
- Grupo B se ha adaptado al cambio climático con una población final exclusivamente marrón (aa).

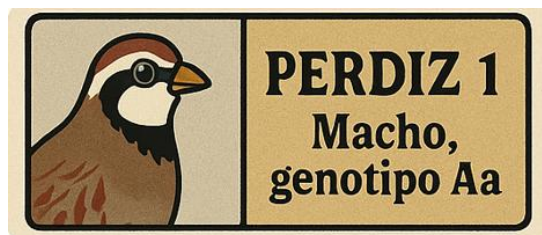
- La alopatría en la ronda 3 provocó que cada subpoblación siguiera trayectorias evolutivas distintas.
- Se observan claramente los efectos de selección natural, mutación, aislamiento geográfico y eventos aleatorios.

C. Cartas y fichas del juego “Destino final: Selección natural”

- Carta de nevadas/carta de alopatría



- Ejemplo de ficha de perdiz para el juego



9.2. Anexo II. Ficha evaluable de la práctica

A. Ficha evaluable de preguntas teóricas sobre la práctica “La batalla contra las bacterias”

1) Medios de cultivo y técnicas de cultivo.

- ¿Por qué el medio de cultivo LB sólido (color rojo) es indicado para el crecimiento bacteriano?

b) En base a nuestra experiencia cultivando bacterias en medio PDA (color blanco), ¿Qué tipo de medio es según su composición?

c) ¿Por qué no nos crecieron hongos en el medio PDA si es un medio muy usado para el crecimiento de hongos? Describe brevemente que precauciones seguimos en nuestra práctica para hacer el cultivo lo más axénico posible.

d) ¿Qué reinos crecieron en tu placa? ¿Qué especies seleccionaste para la aplicación del antibiograma y qué características las diferenciaban?

2) Antibiograma y resistencia a los antibióticos.

En la tercera sesión aplicamos discos con distintas concentraciones de amoxicilina a nuestras bacterias. Según los resultados que obtuvo tu grupo u otros grupos:

a) ¿Qué efecto tuvo sobre el crecimiento bacteriano la aplicación de los discos con distintas concentraciones? ¿Alguno de ellos no tuvo ningún efecto?

b) Si las bacterias que sembramos con los palillos hubiesen sido resistentes a Amoxicilina, ¿Cómo se hubiese visto afectado el crecimiento bacteriano en la placa?

3) Evolución de las bacterias.

La hipótesis de la Reina Roja es una hipótesis evolutiva de 1973 que propone que los organismos (entendidos como poblaciones o especies) deben adaptarse y evolucionar constantemente para sobrevivir mientras compiten con otros organismos en continua evolución.

El nombre de esta teoría viene del libro “Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas”. En ella Alicia le afea a la reina que por más que corren y corren siempre acaban en el mismo lugar.

Esta hipótesis explica la carrera armamentística evolutiva entre algunos predadores y presas. Los depredadores desarrollan mandíbulas más fuertes, y a su vez, las presas desarrollan caparazones o medios de escape más efectivos.

Si aplicamos esta teoría a bacterias patógenas para el ser humano:

a) Razona como podemos aplicar esta teoría a lo visto en clase y en la práctica ¿Qué armas están usando los humanos contra las bacterias? ¿Qué mecanismos tienen las bacterias para adaptarse?

Una de las bacterias que hemos aislado para hacer el antibiograma, *Staphylococcus aureus*, fue usada por el doctor Fleming para probar el efecto del antibiótico Penicilina en 1941. En la actualidad, **la cepa de esta especie que uso Fleming es resistente a la penicilina.**

Según vimos en clase, los organismos pueden adaptarse si las mutaciones que se generan de forma aleatoria son positivas para su supervivencia. Sin embargo, la frecuencia de mutación natural en bacterias se ha estimado en 10^{-4} a 10^{-5} , es decir, no es fácil que ocurran mutaciones y no podemos explicar con la mutación la amplia resistencia a antibióticos de muchas especies

b) ¿Cómo ha podido ganar esta cepa resistencia a la penicilina en menos de 100 años? Haz un dibujo de, al menos, uno de los mecanismos que usan las bacterias para ello. ¿Por qué debemos controlar el uso de antibióticos para tratar infecciones bacterianas?

9.3. Anexo III. Recursos originales para la actividad del MEH

A. Tarjetas de identificación de homínidos

1) *Homo habilis*

Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros”

Tarjeta de identificación N°1


"Dicen que fui el primero en tener algo que decir... aunque solo fuera con gestos.
Con mis manos pequeñas y torpes tallé la primera herramienta de piedra.
No cazo mamuts, pero sí recojo restos con gusto.
Mi cerebro no impresiona, pero mi ingenio sí."

Nombre científico:

MUSEO DE LA EVOLUCIÓN HUMANA

2) *Homo erectus*



Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros”



Tarjeta de identificación N°2


"Soy el primer mochilero de la historia, crucé continentes sin tener GPS ni calzado. Aprendí a domar el fuego, y si me comparas con mis abuelos, parezco casi moderno."

Nombre científico:



3) *Homo antecesor*



Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros”



Tarjeta de identificación N°3


"Soy el europeo más antiguo. Mis dientes son de niño, pero mi cara tiene algo moderno. Algunos dicen que practicaba canibalismo... pero eso que lo juzgue la historia."

Nombre científico:



4) *Homo heilderbergensis*

Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros”





Tarjeta de identificación N°4

"Mi cráneo es una fortaleza, con cejas como tejados. Estoy en la oscuridad de Atapuerca, en la Sima de los Huesos.

Algunos dicen que me arrojaron con respeto, incluso con flores."


Nombre científico:



MUSEO DE LA EVOLUCIÓN HUMANA

5) *Homo neanderthalensis*

Gymkana evolutiva “Tras las huellas de nuestros ancestros”





Tarjeta de identificación N°5

"Nariz grande, cerebro grande, y fuerza para sobrevivir al frío.

Hacía fuego, enterraba a los suyos y a veces me mezclaba con sapiens."

Nombre científico:



MUSEO DE LA EVOLUCIÓN HUMANA

B. Fichas de la Gymkana - Museo de la Evolución Humana

i. FICHA 1: *Homo habilis*

<ul style="list-style-type: none">• Busca y fotografía en el museo	<ul style="list-style-type: none">• Preguntas
<ul style="list-style-type: none">• Mis herramientas de piedra• Reconstrucción hiperrealista de mi rostro• Mi entorno natural africano	<ol style="list-style-type: none">1. ¿Cuál es mi capacidad craneal aproximada?2. ¿Qué tipo de herramientas fabricaba?3. ¿Qué ventajas evolutivas/adaptativas trajo el uso de herramientas?4. ¿Durante qué años habité el planeta?

ii. FICHA 2: *Homo erectus*

<ul style="list-style-type: none">• Busca y fotografía en el museo	<ul style="list-style-type: none">• Preguntas
<ul style="list-style-type: none">• La representación del fuego controlado• Bifaces y herramientas más complejas• Paneles de rutas migratorias humanas	<ul style="list-style-type: none">• ¿Qué importancia tuvo el control del fuego?• ¿En qué zonas del mundo apareció esta especie?• ¿Qué innovaciones técnicas se observan?• ¿Durante qué años habité el planeta?

iii. FICHA 3: *Homo antecessor*

<ul style="list-style-type: none"> • Busca y fotografía en el museo 	<ul style="list-style-type: none"> • Preguntas
<ul style="list-style-type: none"> • Vitrina con la mandíbula y dientes del Niño de Gran Dolina • Panel sobre el yacimiento TD6 • Un árbol filogenético en el que figure esta especie 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Dónde fue hallado el fósil más importante? • ¿Qué teorías hay sobre su dieta? • ¿Es antecesor directo del ser humano moderno? • ¿Durante qué años habité el planeta?

iv. FICHA 4: *Homo heidelbergensis*

<ul style="list-style-type: none"> • Busca y fotografía en el museo 	<ul style="list-style-type: none"> • Preguntas
<ul style="list-style-type: none"> • Encuentra a “Excalibur” • Cráneo n.º5 ("Miguelón") • Paneles sobre el hallazgo de más de 30 individuos 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuántos individuos se han recuperado? • ¿Por qué se cree que se trata de un enterramiento simbólico? • ¿Qué lo diferencia de los neandertales? • ¿Durante qué años habité el planeta?

v. **FICHA 5: *Homo neanderthalensis***

<ul style="list-style-type: none">• Busca y fotografía en el museo	<ul style="list-style-type: none">• Preguntas
<ul style="list-style-type: none">• Reconstrucción facial del Neandertal• Paneles sobre su ADN en humanos actuales• Alguna herramienta lítica (saca una foto)	<ol style="list-style-type: none">5. ¿Qué porcentaje de ADN compartimos?6. ¿Por qué se extinguieron?7. ¿Qué tipo de herramientas fabricaban?8. ¿Durante qué años habité el planeta?