



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

La evolución a través de los camináculos: una
propuesta didáctica de estudio de caso

*Evolution through caminalcules: a didactic case study
proposal*

Autor

Víctor Herrero Silvestre

Directora

María José Sáez Bondía

FACULTAD DE EDUCACIÓN

2025

Índice

I.	Introducción	4
A.	Presentación del trabajo	4
B.	Contexto del centro.....	4
C.	Presentación personal y trayectoria académica y profesional	5
II.	Análisis didáctico de dos actividades realizadas en asignaturas del máster y su aplicación en el prácticum	6
A.	Actividad 1: Trabajo de Fundamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales: “Ideas alternativas sobre Salud, Alimentación y Medioambiente del alumnado de Ciencias de la Tierra y el Medioambiente de segundo de Bachillerato”	6
B.	Actividad 2: Trabajo de Habilidades Comunicativas para Docentes: “Del texto al aula: cómo mejorar la comprensión de las explicaciones del profesor”	7
III.	Propuesta didáctica.....	8
A.	Título y nivel educativo	8
B.	Evaluación inicial	8
	Revisión bibliográfica	8
	Instrumentos de evaluación inicial.....	10
	Resultados	11
	Implicaciones de la evaluación inicial	12
C.	Fundamentación teórica.....	12
IV.	Actividades.....	14
A.	Contexto del aula y participantes.....	14
B.	Metodología de la propuesta.....	15
C.	Actividades realizadas	15
	Actividad 1: Caminálculos.....	16
	Actividad 2: Clases magistrales	22
	Actividad 3: Laboratorio virtual de evolución	26
V.	Análisis de los resultados de aprendizaje.....	31
VI.	Análisis crítico de la propuesta didáctica y propuesta de mejora	35
VII.	Consideraciones finales.....	37
VIII.	Referencias bibliográficas	38
	Anexo I. Recursos utilizados en Camiálculos	40
	Anexo II. Examen de la actividad de clases magistrales.....	40
	Anexo III. Ejercicios del laboratorio virtual de evolución.....	40

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Máster expone el diseño, desarrollo y evaluación de la puesta en práctica de una propuesta didáctica para enseñar la evolución biológica en 4º de ESO, aplicada al grupo bilingüe del CPI San Jorge (Zaragoza) en el curso 2024-2025. La propuesta se fundamenta en el estudio de caso dirigido, un caso particular del aprendizaje basado en problemas, que fomenta la indagación y el pensamiento científico. Se articula en tres actividades complementarias: clases magistrales, un laboratorio virtual de simulación de la selección natural y, el núcleo de la propuesta, los caminálculos. Los resultados muestran que el alumnado superó en buena medida las ideas alternativas presentes inicialmente, elaborando explicaciones evolucionistas adecuadas al modelo neodarwinista. La propuesta tiene, no obstante, posibilidades de mejora tanto en el favorecimiento del cambio conceptual como en la adaptación de los caminálculos. Pese a ello, permite concluir que el estudio de caso dirigido es una metodología didáctica eficaz para la enseñanza de la evolución y el desarrollo de competencias científicas.

Palabras clave: estudio de caso dirigido, aprendizaje basado en problemas, evolución.

Abstract

This Master's Thesis presents the design, development, and evaluation of the implementation of a didactic proposal for teaching biological evolution in the 4th year of Secondary Education, applied to the bilingual group of CPI San Jorge (Zaragoza) during the 2024–2025 school year. The proposal is based on the guided case study, a specific form of problem-based learning that promotes inquiry and scientific thinking. It is structured around three complementary activities: lectures, a virtual laboratory simulating natural selection, and the core of the proposal, the caminalcules. The results show that students largely overcame their initial alternative conceptions, producing evolutionary explanations consistent with the neodarwinian model. However, the proposal still offers room for improvement, both in fostering conceptual change and in adapting the caminalcules activity. Nevertheless, it allows one to conclude that the guided case study is an effective didactic methodology for teaching evolution and developing scientific competences.

Keywords: guided case study, problem-based learning, evolution.

I. Introducción

A. Presentación del trabajo

Este Trabajo de Fin de Máster presenta el diseño y los resultados de la aplicación de una secuencia didáctica para la enseñanza de la evolución biológica al alumnado de 4º de ESO del curso 2024-2025 del Centro Público Integrado San Jorge, de Zaragoza.

Partiendo de la revisión bibliográfica de las ideas alternativas del alumnado sobre el tema, se realiza una evaluación inicial para rastrearlas y fundamentar la intervención. La secuencia se desarrolla en tres actividades, destacando el estudio de caso dirigido, caso particular de la metodología de aprendizaje basado en problemas, que vertebra la propuesta. Esta actividad es apoyada por clases magistrales y una simulación virtual. Finalmente, se discute la utilidad de la propuesta didáctica planteada para el aprendizaje sobre evolución.

B. Contexto del centro

He realizado mis prácticas en el Centro Público Integrado (CPI) San Jorge. Se trata de un centro de reciente creación en el sur de Zaragoza, dando cobertura a una amplia zona del barrio de Valdespartera.

El barrio de Valdespartera se comienza a desarrollar en el año 2001 y se caracteriza por un diseño basado en el concepto de “ecociudad” con arquitectura bioclimática y urbanismo integrador. El barrio se integra en el Distrito Sur, de 41.323 habitantes. La edad media de los hombres del distrito es de 34 años, y la de las mujeres de 35. La tasa de envejecimiento es del 22%, y la de maternidad del 26%. El índice de juventud¹ es del 448%, y el de infancia del 27% (Observatorio Municipal de Estadística, 2024). En resumen, nos encontramos en una zona de la ciudad poblada principalmente por familias jóvenes que, con el desarrollo el tiempo, comienzan a ser de adultos y adolescentes. En el distrito apenas vive un 4% de población extranjera, y destaca por una proporción notable de personas con estudios superiores.

El CPI San Jorge comienza su andadura en el curso 2011 como Centro de Educación Infantil y Primaria (CEIP) Valdespartera II, un “colegio virtual” cuyos primeros tres grupos asistían al CEIP Valdespartera. Desde su creación se trata de un centro bilingüe en inglés, primero acogido al Programa de Currículum Integrado del British Council y, desde el curso 2018-2019, también al Programa BRIT-Aragón. En el curso 2013-2014 finalmente pueden trasladarse a la ubicación actual del centro, en un monte en el límite sur del barrio. Esta ubicación ha permitido al centro continuar creciendo y mantener posibilidades de ampliación para el futuro. Como contrapartida, la ubicación en un monte hace que las secciones del edificio se encuentren a diferentes cotas siendo comunicadas por rampas o escaleras. Tras su traslado a su ubicación definitiva, por acuerdo del Consejo Escolar del 6 de marzo de 2014, se eligió la denominación de CEIP San Jorge por representar tanto a la cultura aragonesa como a la inglesa, señal del bilingüismo del colegio. Es durante el curso de 2018-2019 cuando el centro se convierte en CPI para poder seguir enseñando a sus primeras promociones y, así, en el curso 2023-2024 se graduó la primera promoción de secundaria del centro.

¹ Es la relación entre aquellas personas que todavía no acceden al mercado laboral por ser menores de 15 años, de una determinada junta, entre aquellas personas que han sobrepasado la edad productiva. Se calcula dividiendo la población menor de 15 años por la población mayor de 64 años, multiplicando el resultado por cien.

Actualmente, el centro cuenta con tres vías de Educación Secundaria, que se amplían a cuatro con el grupo del Programa de Aprendizaje Inclusivo (PAI) y el del programa de Diversificación, y se prevé que por la cantidad de alumnos pudieran ampliarse hasta 5 vías.

Durante el curso 2024-2025 contó con 361 alumnos de Secundaria. Su demografía era representativa del barrio. De ellos, 15 son ACNEAE derivadas de discapacidad física (motora y orgánica), discapacidad intelectual, discapacidad auditiva, discapacidad visual, pluridiscapacidad, trastorno del espectro autista (TEA), trastorno mental, trastorno del lenguaje o retraso global del desarrollo. También hay alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo específico del aprendizaje de la lectoescritura, situación de desventaja socioeducativa, incorporación tardía al sistema educativo español y trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), si bien ninguno pertenece al grupo de aplicación de mi propuesta (CPI San Jorge, 2024).

En cuanto a sus instalaciones, el centro cuenta con tres bloques de instalaciones diferentes destinadas a cada nivel educativo. Centrándonos en las de Secundaria, cabe destacar una biblioteca, un laboratorio de Física y Química y un laboratorio de Biología y Geología, y también las aulas especiales para Plástica, Música y Tecnología. Durante el curso 2024-2025 fue necesario utilizar la biblioteca para alojar un aula hasta que tres aulas prefabricadas instaladas en el centro se hicieron operativas en el mes de abril de 2025. Además, en los cursos de 3º y 4º de ESO, el alumnado dispone de ordenadores portátiles.

Finalmente, es relevante que, en aplicación del Programa BRIT, la asignatura de Biología y Geología en el centro es una de las asignaturas impartidas en lengua extranjera (AELEX), para el alumnado que cursa el itinerario bilingüe.

C. Presentación personal y trayectoria académica y profesional

Soy graduado en Ciencias Ambientales y realicé un máster en Prevención de Riesgos Laborales. En mis 6 años de trayectoria laboral me he dedicado, exclusivamente, a la Prevención de Riesgos Laborales en el Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud, organismo público aragonés dedicado a la promoción del conocimiento en biomedicina y ciencias de la salud. Entre mis funciones, una parte importante es la formación preventiva y de desarrollo profesional. Además, colaboro en la gestión de la formación interna. En 2023 decidí matricularme en el Máster de Profesorado como oportunidad de desarrollo y especialización como formador.

En lo personal, cursar este máster ha supuesto un reto importante plagado de complicaciones. Para compatibilizarlo con mis demás responsabilidades, lo dividí en dos años. Por la misma razón, apenas he podido asistir a clases, por lo que tengo que agradecer a profesores, tutoras y compañeros las facilidades para la realización de prácticas, evaluación global, apuntes e indicaciones para lograr superar las asignaturas en estas circunstancias.

Sin haber finalizado en máster, hay mucho conocimiento que he podido ya poner en práctica. Principalmente, en el ámbito psicosocial, como la resolución de conflictos o estilos de motivación, porque si bien en el máster los contenidos se orientan hacia el alumnado de Secundaria, son perfectamente aplicables al trato con adultos y mis funciones laborales. También, por supuesto, he obtenido del máster recursos importantes para estructurar y mejorar mis formaciones, así como de oratoria, y la valoración de los cursos y talleres que he impartido desde que comencé el máster ha mejorado sustancialmente. Completar este máster me ha hecho mejor formador, perspectiva profesional que espero poder explorar en adelante.

II. Análisis didáctico de dos actividades realizadas en asignaturas del máster y su aplicación en el prácticum

A. Actividad 1: Trabajo de Fundamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales: “Ideas alternativas sobre Salud, Alimentación y Medioambiente del alumnado de Ciencias de la Tierra y el Medioambiente de segundo de Bachillerato”

En la asignatura de Diseño Curricular e Instruccional de Ciencias Experimentales realizamos dos trabajos sobre un bloque de saberes correspondientes a asignaturas relacionadas con la biología y geología correspondientes al currículo de Educación Secundaria, que en mi caso fue el bloque D. Salud, Alimentación y Medioambiente, correspondiente a la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medioambiente de 2º de Bachillerato. El primer trabajo, la realización de una programación didáctica, fue muy útil para familiarizarme con el manejo que deben hacer los docentes de la ORDEN ECD/1173/2022, de 3 de agosto, por la que se aprueban el currículo y las características de la evaluación del Bachillerato y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la comunidad autónoma de Aragón. Sin embargo, fue el segundo trabajo el que quiero destacar en este apartado. Este tenía como objetivo familiarizarse con los fundamentos de la didáctica de ciencias experimentales a través de la realización de un pequeño estudio que, en mi caso, orienté hacia el estudio de ideas alternativas.

Mi trabajo sobre ideas alternativas correspondía a la parte de “Fundamentos de Didáctica de las Ciencias Experimentales” de la asignatura, es decir, en la que estudiamos los fundamentos didácticos que delimitan el marco de teórico necesario para diseñar una propuesta didáctica. En esta parte de la asignatura y durante la realización de mi trabajo me sorprendió la importancia de las ideas alternativas en el ámbito de las ciencias experimentales, y cómo estas, en muchas ocasiones, perduraban incluso durante toda la vida.

En la realización de este trabajo, advertí la importancia de que la enseñanza de las asignaturas de tipo científico lograra transmitir el pensamiento crítico y escepticismo ante las pseudociencias que inciden, especialmente, en la alimentación y la salud. La persistencia de ideas alternativas en la etapa de secundaria era una vía de entrada a pseudoterapias, dietas milagro u otras prácticas perjudiciales para la salud de los estudiantes. Pero no solo eso, también lo era, en general, para el mantenimiento de posturas pseudocientíficas, derivadas del establecimiento de modelos mentales fundados en ideas alternativas (Carrascosa, 2005).

Además, gracias a lo aprendido en este trabajo, y una vez decidido con mi tutora del centro que impartiría el tema de la evolución, pude lanzarme a la búsqueda de las ideas alternativas del alumnado de secundaria que podía esperar. Era ya conocedor de la relevancia de estas ideas y cómo debía considerarlas desde el origen de mi propuesta didáctica.

El resultado puede verse en esta propuesta: la revisión bibliográfica previa a la evaluación inicial sobre las ideas alternativas que podía prever al respecto de la evolución: lamarckismo, teleologismo y finalismo, correspondiéndose exactamente con lo encontrado en la evaluación.

B. Actividad 2: Trabajo de Habilidades Comunicativas para Docentes: “Del texto al aula: cómo mejorar la comprensión de las explicaciones del profesor”

Cursé la asignatura de Habilidades Comunicativas para Docentes ya que, como he señalado en mi presentación personal, me interesaba desarrollar mi faceta como formador y comunicador. Aunque ya había realizado algún taller práctico de oratoria, en esta asignatura pude aprender fundamentos teóricos de la presentación oral en contextos educativos y analizar en profundidad las prácticas que hacen la comunicación docente eficaz. En el trabajo “Del texto al aula: cómo mejorar la comprensión de las explicaciones del profesor” tuve la oportunidad de estudiar con todo detalle estas mejores prácticas para construir discursos orales coherentes, comprensibles y motivantes (Sánchez, 1993).

De este trabajo destaco, por su aplicabilidad directa en el aula, la recapitulación de estrategias de profesores oradores expertos: dedicar más recursos y tiempo a la creación del contexto, evaluación frecuente, desarrollo de ideas de forma ordenada y coherente o secuencias discursivas prototípicas, sobre lo que abundaré en la fundamentación del trabajo. También la evaluación sistemática de la comprensión durante el discurso, con preguntas que profundicen y estimulen la comprensión, más que preguntas retóricas de progresión o meramente evaluativas.

En mi propuesta didáctica, las presentaciones orales servían como un andamio en el proceso de enseñanza-aprendizaje a través del estudio de caso dirigido, introduciendo los conceptos necesarios para el progreso en la actividad de Caminálculos. Este rol de soporte de las presentaciones orales en la metodología aplicada no obsta a la necesaria calidad didáctica de las mismas. Se debe cuidar la calidad de las presentaciones para garantizar la mejor transmisión de los conceptos necesarios que favorezca y facilite el progreso en el estudio de caso dirigido.

Aprendí, de este trabajo, a ponderar la naturaleza multidimensional del discurso docente, es decir, que el significado construido por el alumnado no depende únicamente del contenido verbal, sino que emerge de las dimensiones factual, conceptual, inferencial, metacognitiva y transformativa (Bain, 2007). Apoyándome en esta forma más rica de ver el discurso programé presentaciones abundantes en aclaraciones, recapitulaciones, resúmenes, ejemplos y preguntas.

Un cambio significativo que supuso lo aprendido mediante este trabajo a mis presentaciones fue la repetición del índice y la estructura de cada unidad, de forma que se hiciera explícita la jerarquía y relaciones entre los conceptos. Esto último fue apreciado por el alumnado, que estaba acostumbrado a recibir las relaciones y estructura de los conceptos aprendidos después de estudiarlos, por medio de tablas o mapas conceptuales. De esta forma, al ser conscientes con anterioridad de las relaciones que íbamos a establecer entre los conceptos les permitía interiorizarlos ya con una expectativa de vinculación entre ellos. Sin duda, esto favoreció la comprensión del tema, como se verá en el análisis de resultados de aprendizaje.

En definitiva, este trabajo me permitió considerar que las presentaciones orales no debían meramente transmitir información, sino guiar la construcción del significado, ayudando al alumnado a elaborar sus propias representaciones conceptuales. Esta visión quedaba, así, plenamente alineada con el uso de la clase magistral en mi propuesta didáctica: utilizar el discurso, en su sentido más amplio, englobando la interacción mediante preguntas, los apoyos visuales o la exposición clara de los objetivos, como andamio para que el alumnado pudiera resolver el estudio de caso y construir un conocimiento más profundo sobre evolución.

III. Propuesta didáctica

Se propone una secuencia didáctica para desarrollar el tema de la evolución en 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) incluido en el apartado relativo al proceso evolutivo de las características de una especie determinada a la luz de la teoría neodarwinista y de otras teorías con relevancia histórica (lamarckismo y darwinismo) del saber básico C. Genética y evolución, para 4º de ESO, de la ORDEN ECD/1172/2022, de 2 de agosto, por la que se aprueban el currículo y las características de la evaluación de la Educación Secundaria Obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Esta secuencia se desarrolla mediante tres actividades realizadas de forma paralela: la clase magistral para la introducción teórica de los diferentes apartados del tema; un estudio de caso dirigido de evolución de los caminálculos², adaptado de la propuesta *Chasing after Caminalcules* de Jordi Domènech Casal (2019); y un laboratorio virtual de simulación de la selección natural. Estas actividades se alternan a lo largo de la secuencia didáctica.

A. Título y nivel educativo

La propuesta didáctica titulada La evolución a través de los caminálculos está planteada para la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO. Mediante esta propuesta se aborda parte del saber básico C. Genética y evolución, como ya se ha adelantado.

Aunque habría sido interesante poder poner en práctica y comparar los resultados de esta propuesta didáctica en el grupo bilingüe y el no bilingüe, esto no fue posible porque sus clases de Biología y Geología eran simultáneas, en forma de desdoble. Por este motivo, esta propuesta solo se puso en marcha en el grupo bilingüe.

B. Evaluación inicial

Revisión bibliográfica

En primer lugar, del análisis del currículo vertical a través de la ORDEN ECD/1172/2022, debe destacarse que la evolución de los seres vivos no se considera temáticamente en ningún saber básico de Biología y Geología hasta alcanzar 4º de ESO. Por este motivo, se puede esperar que el alumnado tenga un conocimiento muy somero e informal, no académico, sobre las teorías de la evolución y la teoría neodarwinista, aceptada actualmente.

Por otra parte, las ideas alternativas suponen un obstáculo serio para el aprendizaje de las ciencias porque se apartan del conocimiento aceptado por consenso científico, establecidas por el currículo que, en este caso, hace mención expresa al neodarwinismo (Carrascosa, 2005).

Precisamente, como ya identificaron Fernández y Sanjosé (2007) y mantienen Gallego y Muñoz (2015) o Ginnobili et al. (2022), la enseñanza de la evolución sigue suponiendo un desafío para los docentes debido a la presencia de ideas alternativas fuerte mente arraigadas. Estas ideas tienen, generalmente, un origen en la experiencia cotidiana y en la interpretación espontánea de los fenómenos naturales, muy relacionado con el pensamiento teleológico de sentido común y el antropocéntrico, atribuyendo los seres vivos una intención o finalidad en sus cambios para sí

² A lo largo de este trabajo, se hace referencia a caminálculos para nombrar a estos seres, que en la propuesta didáctica original y en el material se denominan *caminalcules* en inglés. Cuando, en este trabajo, se escribe Caminálculos, con mayúscula, se hace referencia al título de la actividad, y no a estos seres.

misimos o para satisfacer nuestras necesidades. Fernández y Sanjosé (2007) agrupan las ideas alternativas sobre evolución en tres categorías:

- Las concepciones lamarckianas, que interpretan la evolución como resultado de las necesidades individuales de los seres vivos y sus esfuerzos, apelan al uso y desuso de órganos e involucran la herencia de caracteres adquiridos.
- Las concepciones teleológicas, que entienden la evolución como un proceso de mejora, y no como una consecuencia natural de la variabilidad y la selección natural.
- Las concepciones finalistas o antropocéntricas, que atribuyen a la naturaleza una intención de progreso o perfección, y que habitualmente ponen al ser humano como meta o fin de la evolución.

Estos autores, además, encuentran que estas ideas permanecen y coexisten con el conocimiento científico, en lo que denominan “bilingüismo conceptual”, por el que los alumnos pueden alternar entre explicaciones intuitivas o científicas en función del contexto.

En este sentido, Yates y Marek (2014) encuentran que estas ideas alternativas se acrecentaban durante la educación secundaria, y se mantenían entre estudiantes universitarios. En su estudio se identifican entre el alumnado ideas lamarckianas, así como la finalidad adaptativa de las mutaciones o que la evolución siempre supone un progreso en sentido positivo. De forma preocupante, encontraron que parte del profesorado compartía estas ideas, siendo causa de la transmisión de errores y dificultando el cambio conceptual.

Karataş (2020) analiza las ideas alternativas de profesores de ciencias en formación inicial en Turquía, encontrando que el 40%, antes de recibir formación específica, conciben la evolución como un proceso dirigido a la evolución, o de forma antropocéntrica; y que estas ideas persisten también después de recibir formación. Por otro lado, Campos y Cortés (2005) encontraron que estudiantes de secundaria no lograban establecer relaciones causales entre variabilidad, herencia y selección natural. Su intervención didáctica, centrada en el desarrollo del pensamiento abstracto, logró una mejora en la capacidad de argumentación y explicación de los procesos evolutivos. Por su parte, en Chile, Cofré et al., (2013) observaron que estudiantes universitarios también mantenían ideas alternativas, especialmente de sentido finalista.

En lo que respecta al contexto español, Gándara et al. (2002), encontraron que libros de texto y materiales escolares mantenían expresiones teleológicas relacionadas con la evolución, poniendo como ejemplo la afirmación de que “las jirafas alargaron el cuello para alcanzar las hojas más altas”. Marco et al. (2011) advierten de que esta tendencia, combinada con el reducido espacio que tiene la evolución en el currículo, contribuye a que muchos estudiantes de secundaria mantengan una visión lamarckiana o finalista de la evolución.

En esta propuesta se han tenido en cuenta las ideas alternativas presentes en la literatura para plantear la evaluación inicial, teniendo en cuenta la posible presencia de ideas lamarkianas, teleológicas y finalistas. La revisión de la bibliografía muestra que, si la enseñanza de la evolución es explícita, contextualizada y se vincula a la indagación científica puede favorecer el cambio conceptual para comprender la evolución desde la perspectiva neodarwiniana. Detectar y trabajar sobre las ideas alternativas supone, pues, el primer paso de la propuesta didáctica y una condición imprescindible para un aprendizaje significativo y coherente con el modelo científico actual.

Instrumentos de evaluación inicial

Para la evaluación inicial se utilizó un test simple haciendo uso de una herramienta que ya estaba implantada en el grupo donde se probó esta secuencia didáctica, *Plickers*. Esta herramienta genera una presentación con una prueba de tipo test a la que el alumnado responde simultáneamente en tiempo real mediante códigos QR cuya orientación determina la respuesta seleccionada, siendo escaneados por un teléfono móvil u otro dispositivo con cámara del docente.

Esta herramienta se ha probado útil para mejorar la motivación general del alumnado, favoreciendo la atención y, aprovechando su estilo gamificado, la participación y el aprendizaje proactivo y distendido (Jordán, 2021). Precisamente por estas razones, la profesora de Biología y Geología tenía la herramienta *Plickers* implantada como forma de repaso de temas ya estudiados. Aproveché el uso distendido que el alumnado ya hacía de esta herramienta para llevar a cabo la evaluación inicial, de forma que se percibiera como una evaluación informal de su conocimiento previo.

En *Plickers*, las preguntas se realizan en orden, se responden en directo y todos los participantes ven la respuesta correcta antes de pasar a responder la siguiente pregunta.

La herramienta cuenta con la limitación de un máximo de 5 preguntas por cada test, pero se estima suficiente atendiendo a lo explicado anteriormente. La prueba se estructura en 5 preguntas con tres posibles respuestas cada una, que permiten identificar ideas alternativas presentes en la literatura, marcando en negrita la respuesta correcta en la Tabla 1.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. The evolution of living things...<ol style="list-style-type: none">A) Sometimes occurs with the goal of degrading a species.B) Occurs with the goal of perfecting species.C) Has no goal.2. Living things can become very different from their ancestors because of...<ol style="list-style-type: none">A) Environmental changes that benefit certain characteristics that accumulate over time in living things.B) Mutations are the only possible cause as they bring about sudden changes in living beings.C) Efforts made for survival over millions of years greatly transform the bodies of living things.3. According to current scientific theories, snakes do not have legs unlike other reptiles because...<ol style="list-style-type: none">A) They have not used them for many generations, as they learned to obtain their vital resources by crawling on the grass.B) The weakening and loss of their legs was an advantage in their natural habitats.C) They accidentally suffered a catastrophic radiation that caused a mutation in all prehistoric snakes losing their legs within a few generations.4. Humans have less hair than other primates because...<ol style="list-style-type: none">A) It has been an advantage to lose hair in our former habitats.B) We no longer need it to protect us from the cold, which atrophies its roots generation after generation.C) Mutagenic agents in the environment, not yet controlled.5. How could an organ with as many parts and as complex as the eye have been formed?<ol style="list-style-type: none">A) It formed because organisms "wished" to see, and their bodies responded accordingly.B) All at once, with a great genetic mutation so that all its elements appeared together.C) Little by little, by the gradual and casual accumulation of modifications and components. |
|--|

Tabla 1. Preguntas planteadas³ a través de *Plickers* en la evaluación inicial.

³ Todos los materiales elaborados se presentan únicamente en lengua inglesa ya que la propuesta didáctica se desarrolló exclusivamente para un grupo bilingüe que cursaba Biología y Geología como AELEX.

Esta prueba tiene la ventaja de explorar varias ideas alternativas sobre la evolución: ideas lamarckianas sobre uso y desuso de órganos (respuesta C de la pregunta 2, respuesta A de la 3, B de la 4 y A de la 5), mutación repentina con cambios en un paso (respuesta B de la pregunta 2, C de la 3, C de la 4 y B de la 5) y la identificación de evolución y progreso (respuesta B de la pregunta 1). Las cuatro primeras preguntas son adaptaciones del cuestionario propuesto para secundaria por Fernández y Sanjosé (2007), mientras que la quinta pregunta, tomada del cuestionario previsto por los autores para universitarios, se ha adaptado para recoger modelos de respuesta similares.

Resultados

Como se ha explicado, en *Plickers*, las preguntas se realizan y resuelven una a una, secuencialmente. Los resultados obtenidos, a pesar de ser coherentes con lo esperado en la bibliografía y lo trasladado por la profesora del grupo, me sorprendieron. Por este motivo, dedicamos tiempo tras cada pregunta y conocer la respuesta a ir desentrañando y, por mi parte, adquiriendo detalles, las ideas sobre evolución presentes en la clase. Debido a esto, se agotó el tiempo de clase durante la realización del cuestionario y decidí reservar la quinta y última pregunta para la evaluación intermedia.

A la pregunta 1, todo el grupo (100%) respondió incorrectamente que la evolución ocurre con el objetivo de perfeccionar la especie. En la segunda pregunta las respuestas fueron más repartidas, y el 75% respondió correctamente, pero revelaron algunas ideas lamarckianas. En la tercera, apenas el 50% respondió correctamente mientras que el resto optaron por una respuesta lamarckiana. En la cuarta y última pregunta realizada, el 100% del grupo prefirió la respuesta lamarckiana. Las respuestas se resumen en la Figura 1.

Seguramente, estas carencias estaban relacionadas con que, como me había indicado mi tutora y se ha revisado en el análisis del currículum vertical, este grupo no había tenido oportunidad anterior de estudiar este tema. Por este motivo, el alumnado presentaba ideas alternativas de índole lamarckiano, relevantes en cuanto al uso y desuso y, si nos guiamos por la cuarta pregunta, muy establecidas en cuanto a la herencia de caracteres adquiridos. Las respuestas a la primera pregunta, además, revelaban la presencia de ideas teleológicas sobre la evolución.

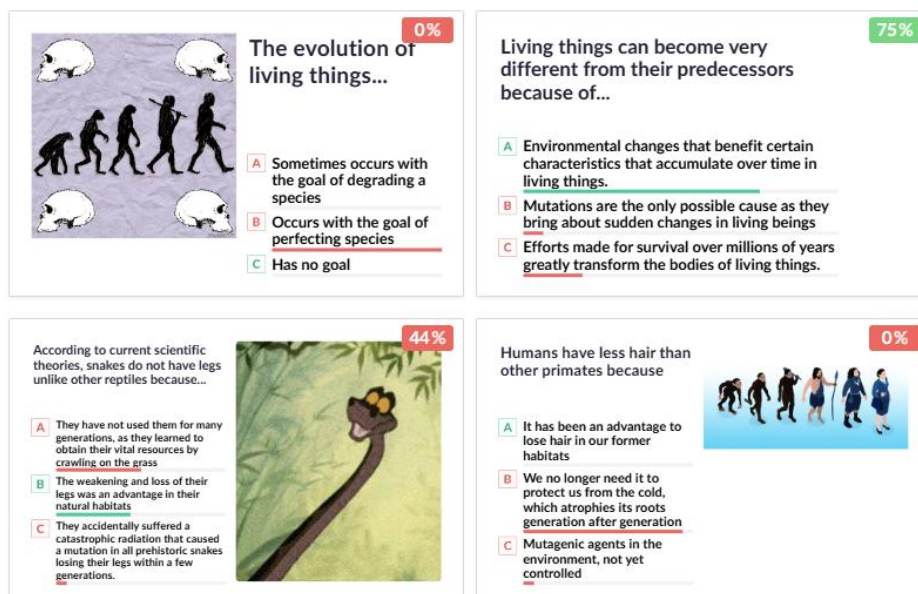


Figura 1. Resultado por pregunta de la evaluación inicial (vista de Plickers)

Implicaciones de la evaluación inicial

La evaluación inicial, aunque me sorprendió, era coherente con lo esperado en la revisión previa y con la propuesta planteada. Mi propuesta ya incorporaba Caminálculos como herramienta de indagación sobre la evolución, siguiendo la recomendación de Campos y Cortés (2005) de combinar actividades de indagación y argumentación para construir conocimiento abstracto. Sin embargo, temía que Caminálculos supusieran un ejemplo limitado. Por ello, atendiendo a Cofré y otros (2013), quise involucrar un mayor número de situaciones científicas reales que sirvieran de ejemplos para contextualizar los conceptos de variabilidad genética y selección natural.

Buscando herramientas que no alteraran demasiado mi planificación, encontré el trabajo de Thomas y Vo (2021), haciendo uso de una herramienta de simulación muy sencilla, de la que se detallará más adelante en la descripción la actividad, pero que encontraban avalada por la literatura para lograr establecer la conexión conceptual entre las mutaciones, la variabilidad y la selección natural, exactamente lo que necesitaba.

Así pues, la implicación más importante de la evaluación inicial fue la incorporación a la secuencia del laboratorio virtual, aprovechando también el uso de herramientas de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

C. Fundamentación teórica

El núcleo de mi propuesta es un estudio de caso dirigido de evolución de los caminálculos, adaptado de la propuesta *Chasing after Caminalcules* de Jordi Domènech (2019). Los caminálculos son una familia de seres vivos ficticia, creada por el investigador Camin Sokal en 1983, con el objeto de probar programas de taxonomía. Estos seres fueron prontamente utilizados para la didáctica de la evolución, destacando el trabajo de Gendron (2000).

Lo relevante, en cualquier caso, es la utilización de los caminálculos para plantear un proyecto de aprendizaje basado en problemas (ABP), en el que el docente ofrece conceptos y teorías no como objetos del aprendizaje, sino como herramientas para que los alumnos los apliquen en la resolución de un problema, generando sus propias conexiones y explicaciones a partir de las herramientas ofrecidas, es decir, poniendo al alumnado como centro del aprendizaje. Por este motivo, está fundamentado en el paradigma constructivista del aprendizaje y forma parte de las metodologías activas, caracterizadas por promover la participación directa del estudiante en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Guamán y Espinoza, 2022). En general, se ha encontrado que el ABP produce mejoras en el pensamiento crítico (Bermúdez, 2021), la motivación e interés (Baloco y López, 2022) y, de forma general, la creatividad, la toma de decisiones, habilidades comunicativas y el trabajo en equipo (Poot-Delgado, 2013).

El caso concreto de esta propuesta es un estudio de caso, es decir, una forma de APB que, como señala Domènech (2019), engarza con la competencia científica: se parte de un problema del que existe una definición, pruebas o datos experimentales y es necesario hacer uso de unos conceptos para reconstruir y explicar los datos de partida y determinar el nivel de coherencia y certeza de la explicación alcanzada. La forma del estudio de caso dirigido que Domènech ha adaptado de Cliff y Nesbit-Curtin (2000) y Herreid (2003) no aporta un escenario completo desde el principio, sino que plantea un problema a resolver para el que se proporcionan al alumnado nuevas pruebas y modelos de forma paulatina, emulando el progreso de aparición de nuevas pruebas en el contexto científico, con lo que los alumnos van modificando sus

conclusiones y adaptando su conocimiento. Esta inestabilidad de las conclusiones puede ser muy favorecedora del desarrollo del pensamiento crítico y de la capacidad para autoexaminar y corregir las ideas alternativas.

Una parte importante del estudio de caso dirigido es el suministro paulatino de nuevas pruebas y contenidos teóricos. Los alumnos ya estaban acostumbrados a presentaciones clásicas y la introducción de más novedades metodológicas podría haber sido en detrimento de la aplicabilidad de la propuesta, así que adopté para su impartición el modelo de clase magistral.

En el análisis de Sánchez (1993) sobre la clase magistral, los profesores con más experiencia dedicaban más recursos y tiempo a la creación de un contexto, evaluaban más frecuentemente y desarrollaban sus ideas de forma más ordenada y coherente que los novatos. En el mismo análisis, se encuentra que los profesores expertos presentan una serie de patrones discursivos regulares, lo que los investigadores denominaron secuencias discursivas prototípicas. En ellas se refleja el modo en que se organiza el discurso, lo que parece confirmar que existe una estructura óptima de presentación de la información que parece facilitar la comprensión.

La secuencia discursiva prototípica comienza con la identificación clara del tema que se tratará. Hacer explícito el tema proporciona una orientación clara al alumnado, remitiendo a lo dado y activando los esquemas mentales relacionados con el tema. Después, aunque de forma menos sistemática, se hace referencia a la importancia del tema o a su sentido, contribuyendo a la motivación y propósito para el aprendizaje. Finalizada esta introducción, se formula la idea básica del tema, que debe ser precisa e inmediata, estableciendo claramente la información que el alumnado debe conocer. La idea se elabora mediante los apoyos ya tratados (repetición, secuencias prototípicas, u otros), facilitando su procesamiento y se va reforzando con la recapitulación. Por último, se realiza un proceso de evaluación. Esta secuencia se repite indefinidamente a lo largo de la explicación, de modo que se establece para el alumnado un patrón predecible que facilita la comprensión. Por el contrario, cuando el discurso es más austero y carece de apoyos y recapitulaciones los discentes requieren de un mayor esfuerzo cognitivo, lo que dificulta la comprensión de las ideas presentadas (Sánchez, 1993).

Es también importante marcar claramente en el discurso la progresión temática para facilitar el seguimiento. Cuando se explicita, se facilita la transición entre los temas y permite al alumnado mantener con mayor facilidad la coherencia de las explicaciones. Asimismo, el uso de apoyos como las reformulaciones, los ejemplos y las repeticiones facilita el procesamiento de las principales ideas del discurso al presentarlas de formas diversas, con más posibilidades de que el alumnado pueda relacionarlas con sus ideas. Según Cros (1996), el uso de conectores discursivos y recapitulaciones parciales ayuda a los estudiantes a organizar la información de manera clara y secuencial.

Por último, la propuesta se complementó con un laboratorio virtual de simulación del proceso evolutivo, fundamentada principalmente en Ameerbakhsh et al. (2013). Estos autores encontraban en la simulación una poderosa herramienta para demostrar conceptos cuyo diseño experimental real no es posible o no es ético como, en este caso, la demostración del proceso evolutivo debido a la escala temporal involucrada. La forma en que este ejercicio se plantea, basada en Thomas y Vo (2021), es un pequeño estudio de caso en el que, por medio de la simulación y la realización de una ficha de ejercicios, se afianza y da una explicación experimental a los conceptos de variabilidad intraespecífica y selección natural, claves para explicar la evolución de las especies.

IV. Actividades

A. Contexto del aula y participantes

El grupo al que se imparte la secuencia didáctica propuesta es el grupo bilingüe de 4º de ESO. Está formado por 17 alumnos en total, con 6 chicas y 11 chicos. Como Biología y Geología es una optativa en su curso, el nivel de motivación e interés es bastante alto.

Como pude participar al comienzo de mi Prácticum II en las sesiones de evaluación, conocí que en este grupo destacaban especialmente dos alumnos, mientras que solo unos pocos suspendían alguna asignatura, con excepción de un alumno y una alumna, con mayor cantidad de suspensos. El caso de este alumno era preocupante, pues pertenecía a una familia inmigrante y había presentado reparos a continuar estudiando.

El bilingüismo no supuso ningún problema, pues todo el grupo había permanecido en el programa BRIT desde educación primaria. En una reunión de coordinación del Programa BRIT, las profesoras de inglés se ofrecieron a utilizar alguna sesión de Lengua Inglesa para introducir léxico de las asignaturas AELEX, pero no fue necesario para esta secuencia didáctica.

En lo que respecta a mi secuencia didáctica, mi tutora de prácticas me informó de que este grupo no había cursado anteriormente ningún tema relacionado con la evolución, como se ha visto en el análisis del currículo vertical. Además, me pidió incluir una introducción sobre el origen de la vida, que tampoco habían presentado anteriormente, y que incluí como parte de las clases magistrales, en una sesión introductoria.

La forma de docencia habitual en Biología y Geología era la clase magistral mediante presentaciones, de las que los alumnos debían elaborar sus apuntes en sus ordenadores portátiles. La profesora, además, les proporcionaba habitualmente la información estructurada en mapas conceptuales o tablas, que muy habitualmente eran también ejercicios de examen. Para completar y poner en práctica los conceptos estudiados, solían realizar fichas de ejercicios, tanto de tipo teórico como práctico, que usualmente se realizaban individualmente y, algunas veces, en grupos. Ocasionalmente, se realizaban proyectos específicos de la asignatura u orientados a jornadas, eventos y otras celebraciones en que la clase participaba. Todos estos trabajos se realizaban en equipos. Por ejemplo, en temas anteriores relacionados con la salud, se habían realizado carteles de información contra las adicciones en grupos de 3 o 4 alumnos. Sin embargo, no solían hacer habitualmente uso de herramientas TIC, aparte del visionado de vídeos y la elaboración de documentos, presentaciones y carteles por ordenador.

El ambiente en el aula era muy bueno, y existía una buena comunicación y participación de todo el alumnado. Era habitual que colaboraran entre sí y se ayudaran mutuamente, estando acostumbrados a trabajar en equipo, tanto puntualmente como en proyectos o trabajos conjuntos. Además, se agrupaban de forma mixta entre chicos y chicas, al contrario de lo que ocurría en otras clases en las que participé.

La disposición en el aula del grupo durante la aplicación de esta secuencia no se modificó especialmente, aunque para las sesiones prácticas, durante las actividades de Caminálculos, sí hubieron de reorganizarse, mezclarse entre grupos y acercarse a la pantalla.

B. Metodología de la propuesta

He aplicado tres metodologías ya descritas en la fundamentación teórica de la propuesta que, aunque tenía dudas fruto de la inexperiencia, se han complementado muy bien.

En primer lugar, el estudio de caso dirigido de la evolución de los caminálculos, que sigue una metodología de aprendizaje basado en problemas, aprovechando que los conceptos y procedimientos utilizados se van aportando a lo largo de la programación, así como apoyos de interés epistémico, como recomienda Domènech (2019).

Como complemento a la anterior, las clases magistrales, aplicando lo estudiado en el Máster para que no sean meros monólogos, abundando en la recapitulación, los ejemplos y la interpelación al alumnado para fomentar su participación y seguimiento de la clase. Para dar continuidad a su forma de trabajo habitual, estas clases se hicieron con diapositivas con apuntes, que luego se ofrecieron a la clase para su estudio.

Por último, aprovechando que con Caminálculos habíamos incorporado el uso de TIC, que en el instituto solo se realiza en los cursos de 3º y 4º, me parecía interesante aprovechar para hacer uso de herramientas más especializadas, aparte de las ofimáticas. Como he explicado en la evaluación inicial, opté por incorporar un laboratorio virtual con que ensayar la selección natural, para el que se resolvieron otros problemas planteados, con el objeto de afianzar los conceptos de variabilidad intraespecífica y selección natural.

C. Actividades realizadas

Se han realizado, principalmente, tres actividades: Caminálculos, clases magistrales y un laboratorio virtual de evolución. Las sesiones se estructuraron según la Tabla 2, con evaluación en gris, clases magistrales en azul, Caminálculos en naranja y laboratorio virtual en verde.

Sesión 1	Evaluación inicial (10 min)
	Origin of life (15 min)
	Introducción a Caminálculos: Clasificación (25 min)
Sesión 2	Origin of species and biodiversity (15 min)
	Sucesión faunística de Caminálculos (30 min)
Sesión 3	Evolutionary theories (15 min)
	Natural selection (15 min)
	Corrección de sucesiones faunísticas de Caminálculos (15 min)
	Evaluación intermedia (5 min)
Sesión 4	Laboratorio virtual de evolución (50 min)
Sesión 5	Modern updates of natural selection (15 min)
	Genetic mechanisms of evolution (15 min)
	Filogenia de los Caminálculos (20 min)
Sesión 6	Speciation (15 min)
	Human evolution (15 min)
	Corrección Caminálculos con secuencias genéticas (20 min)
Sesión 7	Evaluación final (50 min)

Tabla 2. Temporalización y estructura de las sesiones de la secuencia didáctica.

Los dos primeros bloques se alternan en todas las sesiones, como se explicará en detalle en el apartado de Caminálculos, mientras que el laboratorio se realiza en una única sesión tras la evaluación intermedia y como complemento específico al desarrollo de la unidad de la selección natural. En cuanto a los recursos, todas las actividades se realizan en el aula, con un único docente.

Actividad 1: Caminálculos

Introducción y contextualización

Los caminálculos son una familia de seres vivos ficticia, creada por el investigador Camin Sokal en 1983, con el objeto de probar programas de taxonomía. Como se ha discutido en la fundamentación de esta propuesta, se han convertido en una herramienta útil para la enseñanza de la evolución, destacando la inspiración del trabajo de Domènech (2019) para elaborar esta propuesta didáctica.

Aunque la propuesta didáctica de Domènech es más amplia e involucra otros contextos, en mi caso se realizan hasta 4 rondas en las que se entregan al alumnado diferentes caminálculos y deben ir armando su árbol filogenético, aplicando y mejorando su comprensión de los conceptos introducidos en las sesiones de clase magistral. En esta propuesta hay tres fases de trabajo con los caminálculos: Clasificación, sucesión faunística y, finalmente, filogenia. Sobre estas fases se realizaron las tareas realizadas en la Tabla 3.

Fase	Tareas
Clasificación	A.1 Descripción individual de su caminálculo.
	A.2 Puesta en común de las descripciones para encontrar criterios de clasificación comunes a cada grupo de investigación.
	A.3 Comprobación de que sus métodos de descripción son universalizables al resto de caminálculos.
	A.4 Determinación colegiada del mejor método de clasificación de los caminálculos.
Sucesión faunística	B1. Datación relativa de los caminálculos en cortes geológicos.
	B2. Combinación, en cada grupo, de la clasificación con la datación para proponer un árbol evolutivo de sus caminálculos.
	B.3 Puesta en común y determinación colegiada de la estructura del árbol evolutivo de los caminálculos.
Filogenia	C1. Análisis de las secuencias genéticas de los caminálculos estudiados por cada grupo de investigación, determinando su proximidad evolutiva.
	C2. Puesta en común y determinación colegiada el árbol filogenético propuesto para los caminálculos.

Tabla 3. Descripción de las tareas realizadas en cada fase de la actividad Caminálculos.

Objetivos didácticos

- Comprender los fundamentos de la clasificación filogenética de los seres vivos, aplicando criterios de parentesco evolutivo para construir árboles filogenéticos coherentes.
- Desarrollar habilidades de trabajo científico: observar, comparar, clasificar, formular hipótesis, interpretar registros fósiles y representar líneas evolutivas usando los conceptos de sucesión faunística por datación relativa.
- Aplicar el razonamiento lógico para justificar las decisiones tomadas durante la actividad de forma fundamentada.

Elementos curriculares involucrados

El principal elemento curricular involucrado es el de la propuesta didáctica, en el marco del saber básico C. Genética y evolución, enseñar “el proceso evolutivo de las características de una especie determinada a la luz de la teoría neodarwinista y de otras teorías con relevancia histórica (lamarckismo y darwinismo)” y “fenotipo y genotipo: definición y diferencias”. No obstante, esta actividad involucra, por una parte, la puesta en práctica de la perspectiva científica incluida en el saber básico A. Proyecto Científico, en lo relativo a “ hipótesis, preguntas y conjeturas: planteamiento con perspectiva científica”; por otra, del saber básico D. Dinámica de la Geosfera, se apoya sobre “los cortes geológicos: interpretación y trazado de la historia geológica que reflejan mediante la aplicación de los principios de estudio de la historia de la Tierra (horizontalidad, superposición, intersección, sucesión faunística, etc.)”.

Las competencias específicas y criterios de evaluación se relacionan con las tareas involucradas mediante la Tabla 4. No se incluye la Competencia plurilingüe, ya que se encuentra desarrollada a través del Programa BRIT, en que se enmarca esta actividad. Se han adaptado los descriptores del Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.

Competencia específica y criterios de evaluación	Tareas involucradas
CE.BG.1: 1.1 Analizar conceptos y procesos, interpretando información en diferentes formatos, manteniendo una actitud crítica, obteniendo conclusiones y opiniones fundamentadas.	A1: Describir caminálculo B1: Datar relativamente caminálculos C1: Análisis de secuencias genéticas
CE.BG.1: 1.2 Transmitir opiniones fundamentadas e información de forma clara y rigurosa, facilitando su comprensión y análisis mediante el uso de la terminología y el formato adecuados.	A2: Poner en común descripciones A4: Determinar colegiadamente mejor método de descripción B3: Determinar colegiadamente árbol evolutivo C2: Determinar colegiadamente árbol filogenético
CE.BG.1: 1.3 Analizar y explicar fenómenos representándolos mediante el diseño y la realización de modelos y diagramas.	A4: Determinar colegiadamente mejor método de descripción B3: Determinar colegiadamente árbol evolutivo C2: Determinar colegiadamente árbol filogenético
CE.BG.3: 3.1 Plantear preguntas e hipótesis que puedan ser respondidas o contrastadas utilizando las prácticas científicas y la realización de predicciones sobre estos.	A2: Poner en común descripciones A3: Universalizar su descripción B2: Proponer un árbol evolutivo C1: Análisis de secuencias genéticas
CE.BG.3: 3.4 Interpretar y analizar los resultados obtenidos en el proyecto de investigación utilizando herramientas matemáticas y tecnológicas para obtener conclusiones.	A3: Universalizar su descripción B1: Datar relativamente caminálculos C1: Análisis de secuencias genéticas
CE.BG.3: 3.5 Cooperar y colaborar en las distintas fases del proyecto científico para trabajar con mayor eficiencia, valorando la importancia de la cooperación en la investigación.	A4: Determinar colegiadamente mejor método de descripción B3: Determinar colegiadamente árbol evolutivo C2: Determinar colegiadamente árbol filogenético

Tabla 4. Relación entre criterios de evaluación y tareas involucradas de Caminálculos.

Temporalización y recursos

En la Figura 2 se detallan las tareas realizadas en cada bloque y sesión dedicada a Caminálculos, incluyendo el tiempo aproximado dedicado a cada una de ellas. En cuanto a los recursos utilizados, se ha hecho uso, principalmente, de las herramientas de Google Classroom: hojas de cálculo en que se insertaron los caminálculos para realizar su clasificación, se hicieron las tablas de clasificación y se diseñó el árbol filogenético. Además, se adaptó el grupo de caminálculos ofrecido por Domènech (2019) y se adaptaron imágenes de cuatro cortes geológicos para representar la sucesión faunística de los caminálculos. Estos recursos se recogen en el Anexo I con sus respectivas descripciones.

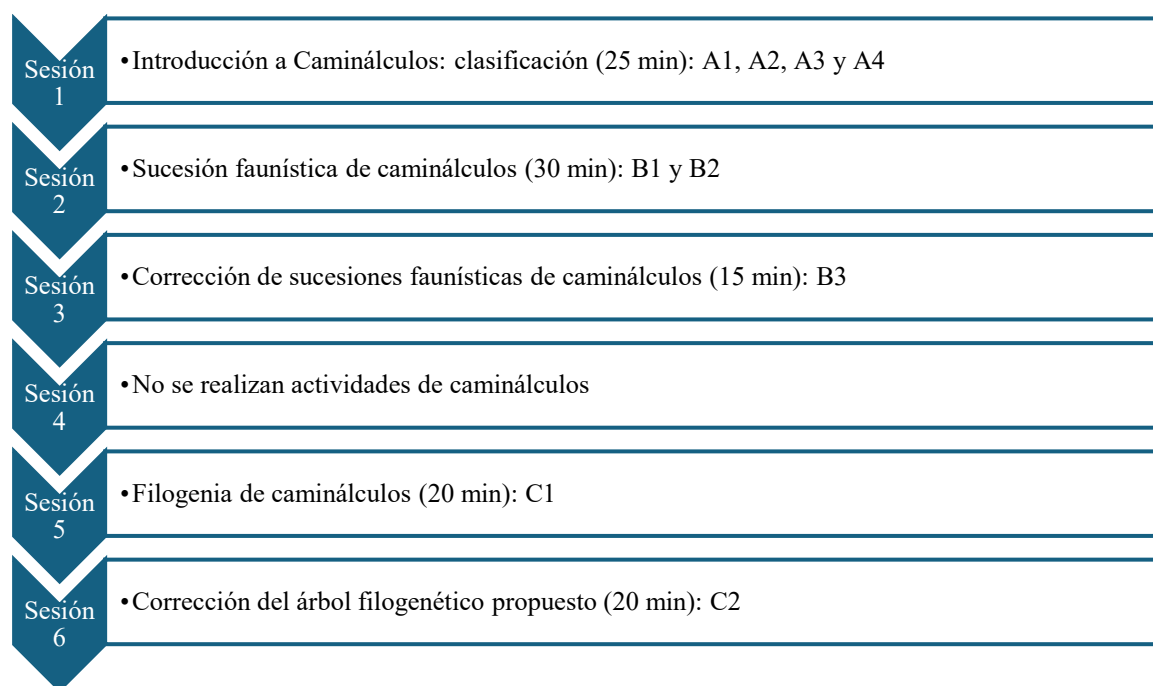


Figura 2. Secuencia de actividades de Caminálculos y tareas involucradas.

Descripción de la actividad

Como se ha explicado, la actividad de Caminálculos se realiza en 3 fases, detalladas en cada una de las actividades.

La primera fase, de clasificación, comienza por la tarea A1, de descripción individual de un caminálculo. En esta fase, se entrega a cada alumno un caminálculo nombrado con un número, y se pedía que lo describiese sin más indicaciones. La entrega fue tanto física, en papel para que pudieran apreciar mejor el detalle, como digital mediante una tabla compartida con la clase en Google Classroom.

Para dar paso a la tarea A2, se conforman los grupos de investigación. Los grupos formados son determinantes del nivel de dificultad del proceso de indagación, en función de la cercanía filogenética de los caminálculos de los integrantes del grupo. Por este motivo, atendiendo a que era la primera implantación de esta propuesta didáctica, sugerí la mejor agrupación a los alumnos, que decidieron adoptarla, resultando en el reparto de la Tabla 5. A continuación, tuvieron 5 minutos para establecer un máximo de tantas características como caminálculos tuvieran para describirlos.

La tarea A3 se desarrolló en otros 5 minutos, tratando de extender esas características al resto de caminálculos, no para describirlos sino para valorar si se adecuaban o no a la clasificación propuesta por cada grupo, es decir, si su método de clasificación era generalizable. Finalmente, en la tarea A4 debieron discutir entre todos los grupos cuáles características funcionaban mejor para clasificar los caminálculos, de cuyo resultado lograron elaborar una clave dicotómica.

Research group		Caminálculos				
A	19, 20, 9, 4, 3	19	20	9	4	3
B	22, 12, 2, 53	22	12	2	53	
C	16, 47, 24, 1	16	47	24	1	
D	15, 14, 13, 28	15	14	13	28	

Tabla 5. Grupos de trabajo y caminálculos asignados.

La sesión 2 se inicia la fase de sucesión faunística. Se entregaron nuevos caminálculos, algunos datados de forma absoluta, y otros sin datación conocida. Sin embargo, tras introducir el concepto de sucesión faunística y datación relativa, y habiendo estudiado y trabajado con cortes geológicos en la unidad anterior, cada grupo recibió un corte geológico con algunos caminálculos y las capas en que se encontraba cada uno. Estos cortes se habían elaborado, de nuevo, utilizando caminálculos próximos filogenéticamente a los de cada grupo, de forma que fuera más sencillo elaborar sus diferentes secciones del árbol y su combinación fuera más sencilla. Un ejemplo de estos cortes se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Corte geológico entregado al grupo C con un nuevo grupo de caminálculos.

No obstante, la tarea B3, de cruce entre la datación y la clasificación dicotómica para comenzar a elaborar el árbol evolutivo requiere de más tiempo ya que resulta más compleja, sobre todo, cuando los grupos deben comenzar a intercambiar información, corregirse entre sí o relacionar sus secciones. Es útil dejar esta tarea para la siguiente sesión, la 3, de modo que puedan incorporarse más contenidos teóricos necesarios para resolver esta fase. Al final, obtienen un árbol muy aproximado al final, con una serie de secciones en duda por la cercanía y dificultad de relacionar especies de caminálculos muy próximas.

Para resolver los problemas anteriores, en la fase de filogenia, se entregaron diferentes secuencias de un gen de comparación entre diferentes caminálculos, de forma que su comparación permitiera discernir los pasos evolutivos entre especies de caminálculos que presentaban problemas. El resultado fue un árbol filogenético muy aproximado al que elaboré para producir la actividad. La corrección, destacando las diferencias en colores rojo o verde, puede verse en la Figura 4. Puede observarse que, en la entrega final de la clase, solo restaron pequeños errores, en general, de un solo paso evolutivo y con características difíciles de discernir y dataciones relativas que, aunque se ubicaron de forma correcta, erraron dentro del tiempo de indeterminación. Los errores, además, se reparten equitativamente entre los diferentes grupos y, en el caso de los grupos 2 y 3 (en amarillo y verde, respectivamente), estos se producen en los cruces con ramas evolutivas de otros grupos, lo que añadía complejidad. Lo más importante, en cualquier caso, es que ninguno de estos errores es achacable a una comprensión insuficiente de los conceptos tratados. De hecho, los alumnos del grupo 2 muy oportunamente plantearon sus dudas sobre el caso de un caminálculo del que aparecen tres ramas, sugiriendo que debe haber alguna especie intermedia que agrupe a las especies 12 y 2, ya que la 53, de la que evolucionaron, apareció con anterioridad y continúa existiendo.

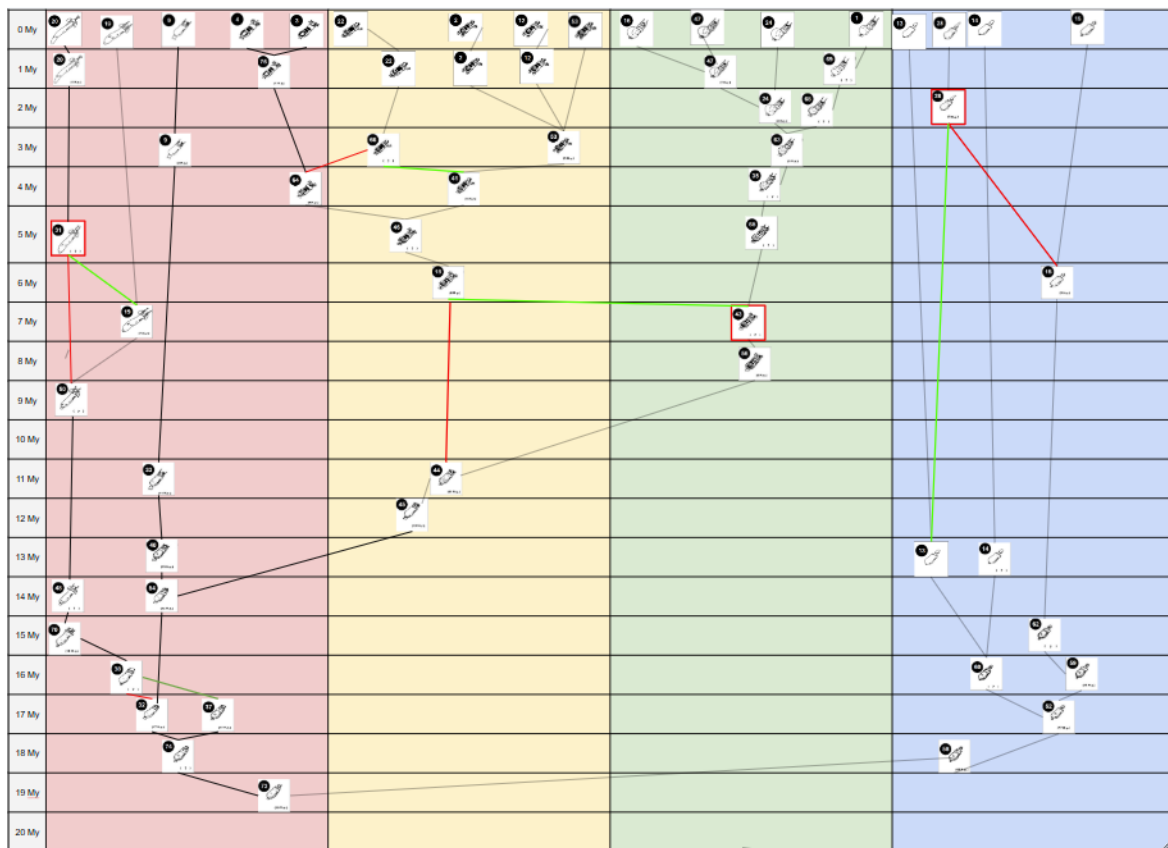


Figura 4. Árbol filogenético de los caminálculos elaborado por la clase.

Evaluación

Para esta actividad se plantea una evaluación de tipo continuo y competencial, comprobando recurrentemente la consecución de los objetivos didácticos. La actividad de Caminálculos se evalúa con los productos de cada grupo entregados de forma virtual (clasificación y árbol filogenético de los caminálculos). En estas entregas, se valoran los objetivos didácticos y, en particular, los criterios de evaluación CE.BG 1.1, 1.2 y CE.BG 3.1 y 3.2. Esta actividad evalúa la competencia de modelización científica, ya que el alumnado avanza elaborando y contrastando sus hipótesis con las de los otros grupos.

Adicionalmente, se valora la argumentación y comunicación científica durante el desarrollo de la actividad mediante la observación docente, para la que se cuenta con la rúbrica recogida en la Tabla 6. Se puede ver que las diferentes tareas de la actividad producen, cada una, un momento de evaluación de uno o varios criterios de evaluación, lo que permite valorar el progreso en la escala de evaluación de un criterio de evaluación. Se utiliza una rúbrica por alumno, mostrándose un ejemplo en la Figura 5.

	Excelente	Adecuado	Básico	Insuficiente
1. Comprensión conceptual de la evolución (CE.BG.1.1)	Explica de forma autónoma y rigurosa los mecanismos de evolución implicados en el caso.	Comprende los mecanismos principales, pero comete leves imprecisiones o requiere apoyo puntual del docente.	Identifica algunos conceptos aislados sin establecer relaciones entre ellos.	Muestra ideas alternativas o errores persistentes sobre la evolución.
2. Aplicación de modelos científicos (CE.BG.1.3)	Elabora un árbol filogenético correcto y justifica sus decisiones con razonamientos adecuados.	Construye un modelo parcialmente correcto, con errores de interpretación o justificación incompleta.	Representa las relaciones de forma confusa o sin criterio científico.	No logra construir un modelo coherente ni justificar su clasificación.
3. Argumentación y razonamiento científico (CE.BG.1.2, CE.BG.3.4)	Argumenta con claridad utilizando ejemplos adecuados y lenguaje científico correcto.	Presenta ideas relevantes, pero con escaso soporte empírico o terminología imprecisa.	Sus razonamientos son escasos o basados en intuiciones no científicas.	No argumenta o lo hace desde creencias o analogías incorrectas.
4. Trabajo cooperativo y gestión del grupo (CE.BG.3.5)	Colabora de manera constante, muestra actitud positiva y favorece la organización del grupo.	Participa de forma intermitente o poco organizada, con implicación irregular.	Participa mínimamente o adopta actitud pasiva.	No coopera o dificulta el trabajo del grupo.
5. Comunicación científica y presentación de resultados (CE.BG.1.3, CE.BG.3.1)	Comunica las conclusiones de forma clara y ordenada, con vocabulario mayoritariamente correcto.	Expone de forma comprensible, pero con lenguaje impreciso o errores formales.	Comunica con dificultad, sin estructura ni vocabulario científico.	No logra expresar las conclusiones ni justificar su trabajo.
6. Actitud científica y reflexión final (CE.BG.3.1, CE.BG.3.5)	Reflexiona sobre sus errores y propone mejoras razonadas.	Acepta las correcciones, pero sin profundizar en su análisis.	Se muestra poco receptivo a la revisión de ideas.	Rechaza la crítica o mantiene explicaciones alternativas sin fundamento.

Tabla 6. Rúbrica de la observación docente de la actividad de Caminálculos.

Alumno: Ejemplo	Excelente	Adecuado	Básico	Insuficiente
1. Comprensión conceptual de la evolución (CE.BG.1.1)	Explica de forma autónoma y rigurosa los mecanismos de evolución implicados en el caso.	Comprende los principales, pero cometiendo errores que requiere apoyo del docente.	Identifica algunos puntos aislados sin establecer relaciones.	Muestra ideas erróneas o errores de evolución.
2. Aplicación de modelos científicos (CE.BG.1.3)	Elabora un análisis científico correcto y justifica sus conclusiones con razonamientos adecuados.	Construye un modelo parcialmente correcto, con errores de interpretación o justificación incompleta.	Representa conclusiones de forma confusa o incorrecta.	No logra construir un modelo consistente.
3. Argumentación y razonamiento científico (CE.BG.1.2, CE.BG.3.4)	Argumenta con claridad utilizando ejemplos adecuados y lenguaje científico correcto.	Presenta ideas interesantes, pero con escaso soporte científico o terminología imprecisa.	Señala algunos puntos interesantes o hipótesis incorrectas.	No argumenta o lo hace desde creencias o analogías incorrectas.
4. Trabajo cooperativo y gestión del grupo (CE.BG.3.5)	Colabora de manera constante, muestra actitud positiva y organiza el grupo.	Participa de forma intermedia, pero con poca iniciativa.	Participa mínimamente, adopta actitud pasiva.	No coopera o dificulta el trabajo del grupo.
5. Comunicación científica y presentación de resultados (CE.BG.1.3, CE.BG.3.1)	Comunica conclusiones de forma clara y organizada, con lenguaje científico correcto.	Expone conclusiones de forma intermedia, pero con lenguaje poco formal.	Comunica con dificultad, sin estructura ni vocabulario científico.	No logra expresar las conclusiones ni justificar su trabajo.
6. Actitud científica y reflexión final (CE.BG.3.1, CE.BG.3.5)	Reflexiona sobre sus errores y propone mejoras razonadas.	Acepta las correcciones y reflexiona sobre su trabajo.	Se muestra poco interesado en la revisión.	Rechaza la crítica o mantiene explicaciones alternativas sin fundamento.

Figura 5. Ejemplo de uso, señalando la evaluación de un alumno en cada actividad en la rúbrica de observación de Caminálculos

Finalmente, esta actividad también es evaluada mediante el examen final, que se detalla en la actividad de clases magistrales por integrar principalmente los criterios de evaluación de esa actividad. No obstante, como se explicado, las clases magistrales ofrecen un soporte a la actividad de Caminálculos, razón por la que su herramienta de evaluación también ofrece información sobre los criterios de evaluación de esta actividad.

Actividad 2: Clases magistrales

Introducción y contextualización

Como se ha adelantado, las clases magistrales sirven como andamiaje de la actividad de Caminálculos y por eso se exponen a continuación de ella, pero este no es su único fin. La actividad anterior, por sí misma, no proporciona el contexto histórico y relevancia de las teorías evolutivas, ni explica sus mecanismos, aunque facilite su comprensión e integración. Además, las clases magistrales han incorporado temas por necesidades transmitidas por la tutora, docente del grupo, que no se desarrollan a través de Caminálculos, destacando el origen de la vida y la evolución de los seres humanos.

Finalmente, las clases magistrales introducen el vocabulario necesario para el desarrollo de la competencia bilingüe en esta unidad, exigencia del Plan BRIT y la inclusión de Biología y Geología como AELEX.

Objetivos didácticos

- Conocer ideas sobre evolución, sucesión faunística, filogenia y cladística para poder desarrollar la actividad de Caminálculos.
- Diferenciar las principales teorías sobre la evolución y su relevancia científica actual.
- Comprender los fundamentos y mecanismos de la evolución, explicando los conceptos básicos en la teoría neodarwinista.

Elementos curriculares involucrados

Como en el caso anterior, el principal elemento curricular involucrado es el de la propuesta didáctica, en el marco del saber básico C. Genética y evolución, enseñar “el proceso evolutivo de las características de una especie determinada a la luz de la teoría neodarwinista y de otras teorías con relevancia histórica (lamarckismo y darwinismo)” y “fenotipo y genotipo:

definición y diferencias”. Además, involucra “la labor científica y las personas dedicadas a la ciencia: contribución a las ciencias biológicas y geológicas e importancia social. El papel de la mujer en la ciencia” y “la evolución histórica del saber científico: la ciencia como labor colectiva, interdisciplinar y en continua construcción” del saber básico A. Proyecto Científico e “Hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra” del saber básico E. La Tierra en el Universo.

Las competencias específicas y criterios de evaluación se relacionan con las unidades impartidas en las clases magistrales según la Tabla 7. No se incluye la Competencia plurilingüe, ya que se encuentra desarrollada a través del Programa BRIT, en que se enmarca esta actividad. Se han utilizado los descriptores de las competencias clave de acuerdo con el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.

Competencia específica y criterios de evaluación	Unidades involucradas
CE.BG.1: 1.1 Analizar conceptos y procesos, interpretando información en diferentes formatos, manteniendo una actitud crítica, obteniendo conclusiones y opiniones fundamentadas.	1. Origin of life 2. Origin of species and biodiversity 7. Speciation 8. Human evolution
CE.BG.1: 1.3 Analizar y explicar fenómenos representándolos mediante el diseño y la realización de modelos y diagramas.	3. Evolutionary theories 4. Natural selection 6. Genetic mechanisms of evolution
CE.BG.2: 2.3 Valorar la contribución de la ciencia a la sociedad, entendiendo la investigación como una labor colectiva e interdisciplinar.	1. Origin of life 3. Evolutionary theories 5. Modern updates of natural selection

Tabla 7. Relación entre criterios de evaluación y unidades de las clases magistrales.

Temporalización y recursos

El único recurso utilizado fue una presentación por diapositivas⁴ compartida en el Google Classroom. La temporalización por sesiones se presenta en la Figura 6, incluyendo los apartados incluidos en cada unidad. Si la unidad consta de un único apartado, solo se indica el título de la unidad.

⁴ Disponible en:

<https://docs.google.com/presentation/d/1a58gFa0wOzwKvvUXTwPOcQE0mcA9QX8AWrcIqnz4PT8/>

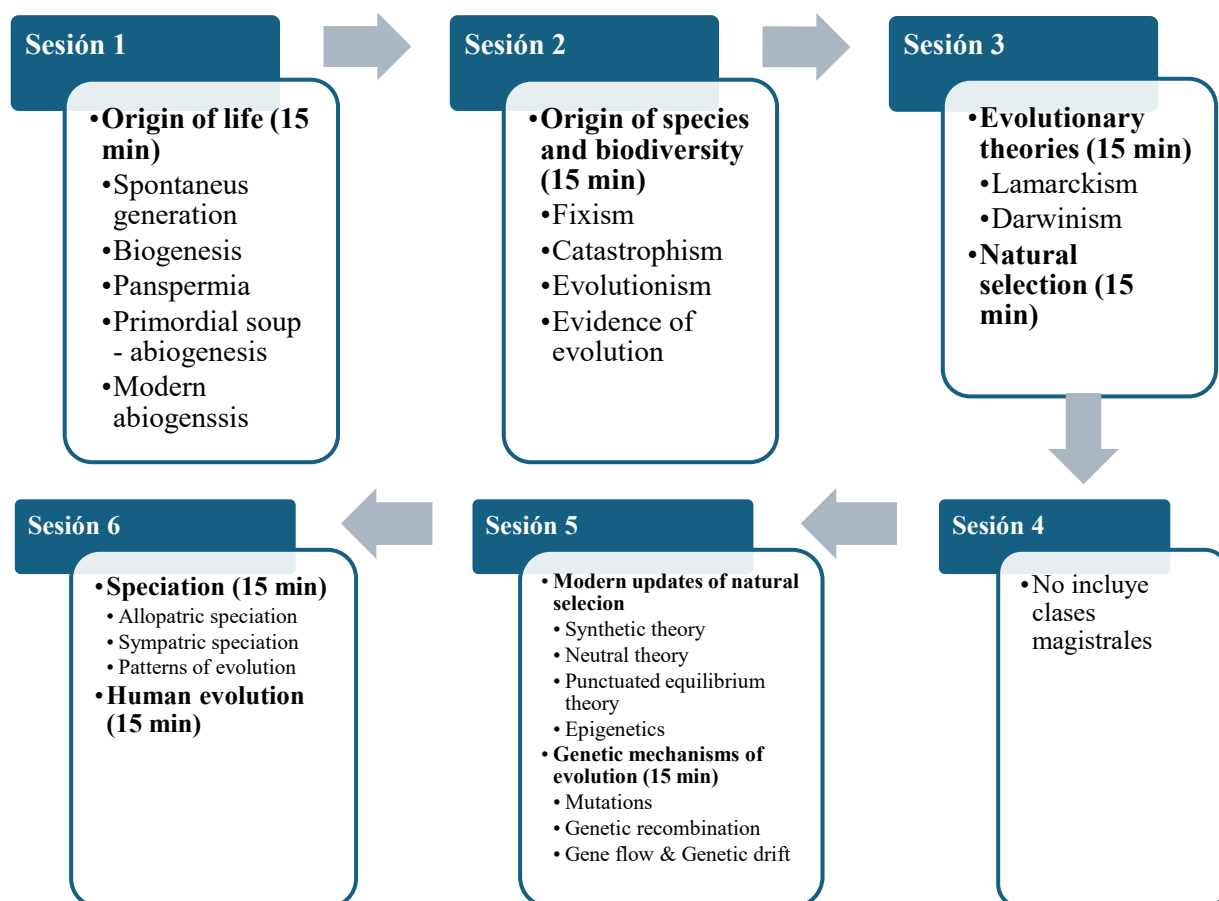


Figura 6. Temporalización y contenido de las unidades de las clases magistrales.

Descripción de la actividad

Se realizaron las presentaciones atendiendo especialmente a lo indicado en la fundamentación respecto a las clases magistrales: abundando en repeticiones, recapitulaciones e insistiendo, para cada sesión, en la estructura de la unidad. La numeración de los apartados contribuye a reforzar el sentido de estructura. Además, las presentaciones incluyen una gran carga visual, se indica aquello que es más importante en negrita, y lo anecdótico en cursiva, hecho indicado y recordado frecuentemente a los discentes. Como se ha discutido anteriormente, todo ello contribuye a una mejor motivación y participación en la clase y, por supuesto, seguimiento de las explicaciones.

Como muestra, se hicieron recapitulaciones frecuentes al índice en cada unidad (Figura 7). Además, las diapositivas, como el ejemplo de la Figura 8, contenía siempre un recordatorio de la estructura (5.6.1), además de ir numerada (página 62), recogía el núcleo de las explicaciones impartidas en el apartado y utilizaba imágenes como ejemplo, siempre que fuera posible, de diferentes grados de abstracción y explicación. En el ejemplo expuesto, la primera imagen de la Figura 8, dispuesta en la parte superior de la diapositiva, representa la especiación alopátrica con leyenda de cada paso y colores. La segunda imagen, dispuesta en el lado izquierdo, suprime la leyenda e introduce seres vivos en lugar de colores y la última representa un caso real de especiación alopátrica. En otras diapositivas, además, se utiliza el estilo de letra negrita o el subrayado para señalar aspectos clave y letra cursiva o de menor tamaño para la información más anecdótica o de soporte.

Cada apartado se terminaba con una recapitulación, en la que se preguntaba sobre conceptos y ejemplos a la clase. Cuando un apartado suscitaba más dudas, posteriormente adaptaba las diapositivas necesarias, ya que eran utilizadas por el alumnado como apuntes para el estudio del tema.

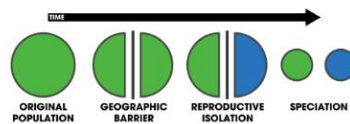
B5. Evolution

- 5.0 Origin of life
- 5.1 Origin of species and biodiversity
- 5.2 Evolutionary theories
- 5.3 Natural selection
- 5.4 Modern updates of natural selection
- 5.5 Genetic mechanisms of evolution
- 5.6 Speciation**
 - 5.6.1 Allopatric speciation**
 - 5.6.2 Sympatric speciation**
 - 5.6.3 Patterns of evolution**
- 5.7 Human evolution

60

Figura 7. Ejemplo de diapositiva de índice al comienzo de una nueva unidad.

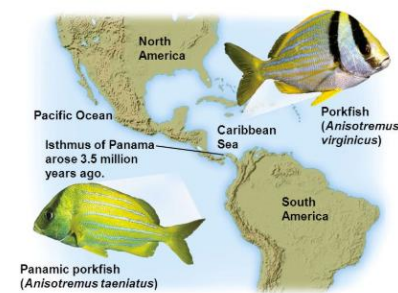
5.6.1 Allopatric speciation



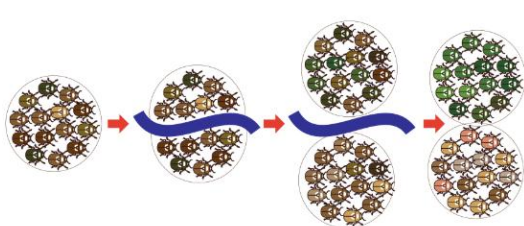
The diagram illustrates the process of allopatric speciation over time. It starts with a single green circle representing the 'ORIGINAL POPULATION'. A vertical line indicates a 'GEOGRAPHIC BARRIER' that splits the population into two halves. As time progresses, the two halves become increasingly different in color (green and blue), representing 'REPRODUCTIVE ISOLATION'. Finally, the process results in two distinct circles, one green and one blue, representing 'SPECIATION'.

Allopatric speciation is the speciation that happens because a population of a species becomes geographically separated from the rest.

There are many ways this can happen: tectonic divisions, the emergence of mountains, or rivers, ...



The map shows the Isthmus of Panama connecting North and South America. It labels the Pacific Ocean, Caribbean Sea, and the Isthmus of Panama, noting it arose 3.5 million years ago. It shows the distribution of two species of fish: the Panamic porkfish (*Anisotremus taeniatatus*) in the Pacific and the Caribbean porkfish (*Anisotremus virginicus*) in the Caribbean.



The diagram shows a population of fish (represented by small circles) being split by a blue wavy line representing a geographic barrier. The population is divided into two groups, each with its own set of genetic variations (represented by different colors and patterns). Over time, the two groups evolve independently, leading to the formation of two distinct species.

62

Figura 8. Ejemplo de diapositiva utilizada para el desarrollo de un apartado del temario.

Evaluación

Como se ha dicho, las clases magistrales, principalmente, complementan y sirven de andamiaje a la actividad de Caminálculos. Sin embargo, también introducen nuevos temas no incluidos en

esa actividad. El examen final, que sirvió como instrumento de evaluación, atiende principalmente a los conceptos utilizados en las clases magistrales, recopilando todos los criterios de evaluación incluidos en esta actividad. Además, como ya se ha indicado con respecto a la evaluación de Caminálculos, el examen también incorpora algunos de sus criterios de evaluación.

Se presenta este examen en el Anexo II y se relaciona cada criterio de evaluación, tanto de las clases magistrales como de Caminálculos cuando se han incluido, con las preguntas de examen mediante las que se evalúa en la Tabla 8.

Criterio de evaluación	Pregunta de examen
Clases magistrales y Caminálculos: CE.BG.1.1 Analizar conceptos y procesos, interpretando información en diferentes formatos, manteniendo una actitud crítica, obteniendo conclusiones y opiniones fundamentadas.	1. Preguntas de elección múltiple 2. Preguntas cortas
Caminálculos: CE.BG.1.2 Transmitir opiniones fundamentadas e información de forma clara y rigurosa, facilitando su comprensión y análisis mediante el uso de la terminología y el formato adecuados.	2. Preguntas cortas 3. Explicar la Selección Natural
Clases magistrales y Caminálculos: CE.BG.1.3 Analizar y explicar fenómenos representándolos mediante el diseño y la realización de modelos y diagramas.	2. Preguntas cortas 3. Explicar la Selección Natural
Clases magistrales: CE.BE.2.3 Valorar la contribución de la ciencia a la sociedad, entendiendo la investigación como una labor colectiva e interdisciplinar.	1. Preguntas de elección múltiple

Tabla 8. Criterios de evaluación y preguntas de examen mediante las que se evalúan.

Actividad 3: Laboratorio virtual de evolución

Introducción y contextualización

Como se ha explicado en las implicaciones de la evaluación inicial, me preocupaba que mi adaptación de la actividad Caminálculos fuera insuficiente para proporcionar una ejemplificación y repertorio de problemas suficientes para guiar la construcción del conocimiento sobre la evolución. Así encontré el laboratorio virtual de selección natural desarrollado por SEPUP (*Science Education for Public Understanding Program*), un proyecto de la Universidad de California en Berkeley que permite simular cientos de miles de años en diferentes variedades de pájaros y ecosistemas.

En la simulación, se presenta una isla dividida en cuatro ecosistemas diferentes, comenzando por el suroeste. Este ecosistema está predefinido, y el estudiante debe diseñar tres especies de pájaros que puedan sobrevivir en él. Después, da comienzo la simulación, que dura 500.000 años. Frecuentemente, la simulación se pausa cuando se producen eventos aleatorios que afectan al fenotipo y distribución de las poblaciones, lo que genera una amplia variedad de ejemplos de “eventos evolutivos” de una especie y sus diferentes posibilidades. Por ejemplo, aparecen mutaciones que producen cambios fenotípicos estables o que se extinguen rápidamente, entre otras. Tras finalizar esta primera etapa, la simulación indica que un huracán ha desplazado a las poblaciones supervivientes de la primera simulación al resto de ecosistemas de la isla. Cada alumno puede diseñar el ecosistema del noreste como desee, y los otros dos ecosistemas se generan de forma aleatoria. En la última fase de la simulación, se sigue el proceso evolutivo de las tres especies en cada uno de los ecosistemas durante otros 500.000

años, donde los cambios ya no solo ocurren mediante mutaciones de las especies de estudio, sino que también los ecosistemas sufren alteraciones sobre la disponibilidad de alimento, depredadores y refugios.

En definitiva, este laboratorio produce una gran diversidad de ejemplos y asienta la comprensión de la escala temporal en el proceso evolutivo, justo lo que necesitaba para que el alumnado pudiera establecer paralelismos entre lo sucedido a los pájaros del laboratorio virtual y a los caminálculos que le proporcionaba.

Objetivos didácticos

- Comprender los conceptos de mutación, fenotipo, diversidad intraespecífica, presión selectiva, selección natural y evolución, interrelacionándolos para poder ofrecer ejemplos de procesos evolutivos.
- Desarrollar habilidades de trabajo científico: observar, comparar, formular hipótesis e interpretar ejemplos de cambios evolutivos usando herramientas informáticas.

Elementos curriculares involucrados

El carácter más específico de esta actividad se corresponde con una selección limitada de elementos curriculares, evidentemente, en el marco del saber básico C. Genética y evolución, en cuanto a “el proceso evolutivo de las características de una especie determinada a la luz de la teoría neodarwinista y de otras teorías con relevancia histórica (lamarckismo y darwinismo)” y “fenotipo y genotipo: definición y diferencias”. Los criterios de evaluación involucrados se relacionan con las tareas de esta actividad según la Tabla 9. No se incluye la Competencia plurilingüe, ya que se encuentra desarrollada a través del Programa BRIT, en que se enmarca esta actividad. Se han utilizado los descriptores de las competencias clave de acuerdo con el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria

Criterios de evaluación	Tareas involucradas
CE.BG.3.1 Plantear preguntas e hipótesis que puedan ser respondidas o contrastadas utilizando las prácticas científicas y la realización de predicciones sobre estos.	Debate por grupos Solución individual de los ejercicios
CE.BG.3.3 Realizar experimentos y tomar datos cuantitativos o cualitativos sobre fenómenos biológicos y geológicos utilizando los instrumentos, herramientas o técnicas adecuadas con corrección y precisión.	Uso individual del simulador
CE.BG.3.4 Interpretar y analizar los resultados obtenidos en el proyecto de investigación utilizando herramientas matemáticas y tecnológicas para obtener conclusiones.	Ejemplo de uso del simulador Solución individual de los ejercicios

Tabla 9. Relación entre criterios de evaluación y tareas realizadas en el laboratorio virtual de evolución.

Temporalización y recursos

Se detallan las tareas realizadas en la actividad mediante la Tabla 10.

Sesión	Bloques de las actividades	Tareas de la actividad
Sesión 4	Laboratorio virtual de evolución (50 min)	Ejemplo de uso del simulador (15 min) Uso individual del simulador (10 min) Debate por grupos (10 min) Solución individual de los ejercicios (15 min)

Tabla 10. Detalle de las tareas realizadas en el laboratorio virtual de evolución.

Se utilizan dos recursos. Por una parte, el laboratorio de simulación virtual⁵ ya descrito y, por otra, una serie de ejercicios descritos en el Google Classroom, adaptados de Thomas y Vo (2021) y descritos en el apartado siguiente. Debido a que algunos alumnos debieron repetir alguna simulación por falta de datos, terminaron los ejercicios en su tiempo libre, siguiendo las instrucciones del acuerdo sobre deberes del CPI San Jorge⁶.

Descripción de la actividad

En primer lugar, se realizó una simulación de prueba por el profesor para que todo el alumnado se familiarizara con la herramienta. En esta prueba, solo se utilizó la primera parte de la simulación, correspondiente al diseño de tres especies de pájaros que viven en un ecosistema prediseñado por la simulación. Las características del ecosistema guían el diseño de las especies mejor adaptadas, con lo que resulta sencillo evitar la extinción de alguna de las especies, lo que reduce la cantidad de ejemplos en la simulación, como se muestra en la Figura 9.

En este ejemplo, el ecosistema de suroeste dispone, en cuanto a la disposición de alimentos, de una cantidad media de semillas (para las que los picos cortos y rectos son mejores) e insectos (que se atrapan mejor con picos largos y rectos), mientras que no hay disponibilidad de néctar, no existen depredadores y el follaje es principalmente de color verde pardo, lo que determina la capacidad de ocultarse de depredadores.

En el ejemplo, se diseñaron tres especies iguales en cuanto a su pico, corto y recto, su plumaje de color verde, y solo se varió el tamaño, haciendo una especie pequeña, una mediana y una grande. El resultado de la simulación fue que, debido a una mutación, la primera especie adquirió un pico mediano y esta variedad desplazó a las poblaciones de pico corto, mientras que en las otras dos especies, aunque se produjeron mutaciones, estas se extinguieron o permanecieron menos frecuentes que el fenotipo original. Todas sobrevivieron, aunque la pequeña multiplicó su población estable por un factor de 6,8, mientras que la mediana solo lo hizo por 6,3 y la grande por 2,2.

La explicación alcanzada por la clase para este resultado encontró dos causas: la primera, que los seres más pequeños pueden alcanzar mayor número con la misma disponibilidad de alimento por saciarse antes; la segunda, que el pico mediano permitía acceder tanto a semillas como a insectos, permitiendo a esta especie una dieta más variada y aprovechar recursos -los insectos- de forma más eficiente que las otras dos especies, que mantuvieron el pico corto.

⁵ Disponible en:

https://labaid.s3.us-east-2.amazonaws.com/sgi-sims/sepup_natural_selection/index.html

⁶ El acuerdo, disponible en <https://cpisanjorge.catedu.es/wp-content/uploads/sites/169/2023/08/Acuerdos-Tareas-Escolares-2023.pdf>, no especifica límites temporales en secundaria, pero sí el respeto a puentes, festivos o vacaciones.

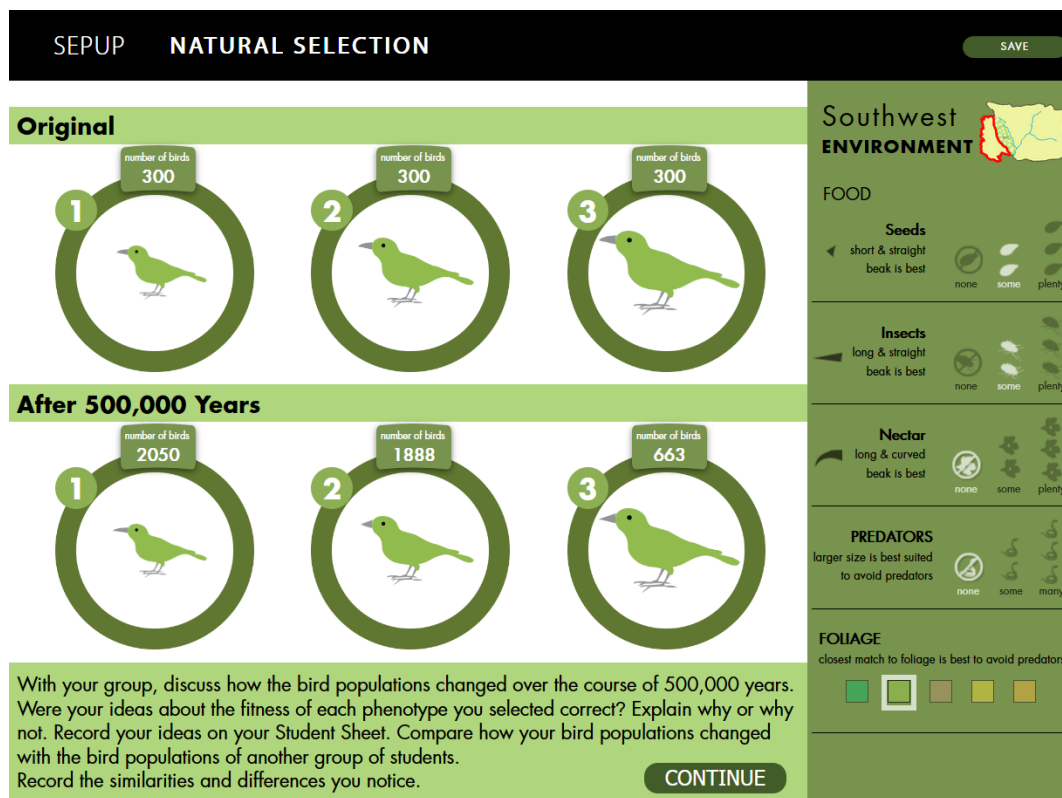


Figura 9. Ejemplo de un resultado de simulación.

Tras hacer cada alumno el uso individual del simulador se debatió en el aula sobre las especies a las que mejor les había ido en el ecosistema, qué mutaciones habían sido favorecedoras de ello, cuáles no, y otros resultados de los eventos que se habían producido en cada simulación. En este espacio de puesta en común, los alumnos pudieron resolver sus dudas entre sí, compartiendo resultados y comprensiones acerca del proceso. La intervención docente se limitó a introducir, a lo largo del debate, los términos específicos sobre el tema cuando se introducían de forma coloquial o mediante paráfrasis, por ejemplo “mutación” por “cambios” o “alelo” por “otra forma de la especie”.

Finalmente, cada alumno debió volver a su simulación y comenzar a responder a las cuestiones planteadas en el Google Classroom, que se recogen en el Anexo III, y que versan sobre la descripción de las situaciones evolutivas (especies y ecosistemas), formulación de hipótesis sobre el futuro evolutivo de las especies de acuerdo con las presiones selectivas de su ecosistema, recogida de datos de simulación y contraste de las hipótesis con los datos experimentales. Las preguntas guían el uso de la simulación ya que son secuenciales y avanzan en paralelo al progreso de la simulación. Como se ha dicho, las preguntas se basan en el trabajo de Thomas y Vo (2021), y pueden agruparse entre las que evalúan competencias científicas descriptivas y observacionales (primera, cuarta y sexta) basándose en la observación, registro y reconocimiento de patrones; las que evalúan la formulación de hipótesis y anticipación de resultados (primera y quinta) y las que evalúan la argumentación científica (segunda, tercera y séptima) mediante la interpretación y el razonamiento causal. Estos aspectos se describen en mayor detalle en la evaluación.

Evaluación

La evaluación de este apartado se realiza mediante los ejercicios recogidos en el Anexo III. Estos ejercicios incluyen ambos criterios de evaluación y, sobre todo, demuestran que el objetivo didáctico de esta actividad se ha cumplido ya que incorporan tanto la comprensión y uso de los términos necesarios para describir el proceso evolutivo como las habilidades de trabajo científico. En la Tabla 11 se relaciona cada criterio de evaluación con los ejercicios (o su apartado, en el caso del primero) mediante los que se evalúan.

Criterio de evaluación	Ejercicio mediante el que se evalúa
CE.BG.3.1 Plantear preguntas e hipótesis que puedan ser respondidas o contrastadas utilizando las prácticas científicas y la realización de predicciones sobre estos.	1. Parte de predicción de resultados 5. Hipótesis sobre resultados de la simulación
CE.BG.3.3 Realizar experimentos y tomar datos cuantitativos o cualitativos sobre fenómenos biológicos y geológicos utilizando los instrumentos, herramientas o técnicas adecuadas con corrección y precisión.	1. Parte de descripción de ecosistema 4. Descripción de ecosistemas 6. Registro de eventos evolutivos
CE.BG.3.4 Interpretar y analizar los resultados obtenidos en el proyecto de investigación utilizando herramientas matemáticas y tecnológicas para obtener conclusiones.	2. Resultados de las mutaciones 3. Comprobación de hipótesis 7. Explicación de resultados de simulación

Tabla 11. Relación entre los criterios de evaluación y los ejercicios de la actividad.

V. Análisis de los resultados de aprendizaje

Como se ha podido observar, todos los instrumentos de evaluación presentados para las actividades se estructuran por criterios de evaluación, tal y como se resume en la Tabla 12.

Criterio de evaluación	Instrumento de evaluación	Pregunta, ejercicio o apartado
CE.BG.1.1	Examen	1. Preguntas de elección múltiple 2. Preguntas cortas
	Rúbrica de observación	1. Comprensión conceptual de la evolución
CE.BG.1.2	Examen	2. Preguntas cortas 3. Explicar la Selección Natural
	Rúbrica de observación	3. Argumentación y razonamiento científico
CE.BG.1.3	Examen	2. Preguntas cortas 3. Explicar la selección natural
	Rúbrica de observación	2. Aplicación de modelos científicos 5. Comunicación científica y presentación de resultados
CE.BG.2.3	Examen	1. Preguntas de elección múltiple
CE.BG.3.1	Ejercicios de laboratorio	1. Parte de predicción de resultados 5. Hipótesis sobre resultados de la simulación
	Rúbrica de observación	5. Comunicación científica y presentación de resultados 6. Actitud científica y reflexión final
CE.BG.3.3	Ejercicios de laboratorio	1. Parte de descripción de ecosistema 4. Descripción de ecosistemas 6. Registro de eventos evolutivos
CE.BG.3.4	Ejercicios de laboratorio	2. Resultados de las mutaciones 3. Comprobación de hipótesis 7. Explicación de resultados de simulación
	Rúbrica de observación	3. Argumentación y razonamiento científico
CE.BG.3.5	Rúbrica de observación	4. Trabajo cooperativo y gestión del grupo 6. Actitud científica y reflexión final

Tabla 12. Resumen de criterios de evaluación e instrumentos de evaluación.

A lo largo de la aplicación de esta secuencia, se han utilizado las calificaciones numéricas como forma de objetivar y facilitar la evaluación de los criterios de evaluación. De esta forma, se fueron adoptando diferentes criterios de calificación para cada herramienta, asignando un valor numérico como evaluación de la excelencia en la consecución de los objetivos de cada apartado. Por ejemplo, en la rúbrica de observación se asignaba la máxima calificación a un apartado si

en él se permanecía o alcanzaba el nivel “Excelente”, y se reducía proporcionalmente cuando se alcanzaba una evaluación inferior o el progreso era más limitado o negativo.

Excepto en el examen, todos los instrumentos de evaluación califican cada apartado por el mismo valor, lo que facilita la obtención de una calificación por cada criterio de evaluación para evaluar el progreso. El examen no se califica por criterios de evaluación sino por apartados, para facilitar la comprensión y transparencia hacia el alumnado, lo que requiere de una ponderación de las calificaciones para poder adecuarla a las demás herramientas de evaluación e incorporarlas a una evaluación por criterios de evaluación. De este modo, se puede emitir una calificación a partir de la evaluación por criterio para el grupo-clase, que se recoge en la Tabla 13.

<i>Criterio de evaluación</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
<i>CE.BG.1.1</i> <i>Analizar conceptos y procesos, interpretando información en diferentes formatos, manteniendo una actitud crítica, obteniendo conclusiones y opiniones fundamentadas.</i>	6,3	1,94	9,0	3,0
<i>CE.BG.1.2</i> <i>Transmitir opiniones fundamentadas e información de forma clara y rigurosa, facilitando su comprensión y análisis mediante el uso de la terminología y el formato adecuados</i>	7,8	2,20	10,0	5,0
<i>CE.BG.1.3</i> <i>Analizar y explicar fenómenos representándolos mediante el diseño y la realización de modelos y diagramas.</i>	9,4	0,69	10,0	7,4
<i>CE.BG.2.3</i> <i>Valorar la contribución de la ciencia a la sociedad, entendiendo la investigación como una labor colectiva e interdisciplinar.</i>	5,4	2,83	10,0	0,0
<i>CE.BG.3.1</i> <i>Plantear preguntas e hipótesis que puedan ser respondidas o contrastadas utilizando las prácticas científicas y la realización de predicciones sobre estos.</i>	9,5	0,69	10,0	7,5
<i>CE.BG.3.3</i> <i>Realizar experimentos y tomar datos cuantitativos o cualitativos sobre fenómenos biológicos y geológicos utilizando los instrumentos, herramientas o técnicas adecuadas con corrección y precisión.</i>	8,8	1,52	10,0	5,0
<i>CE.BG.3.4</i> <i>Interpretar y analizar los resultados obtenidos en el proyecto de investigación utilizando herramientas matemáticas y tecnológicas para obtener conclusiones.</i>	9,3	1,00	10,0	6,3
<i>CE.BG.3.5</i> <i>Cooperar y colaborar en las distintas fases del proyecto científico para trabajar con mayor eficiencia, valorando la importancia de la cooperación en la investigación.</i>	9,8	0,44	10,0	9,0

Tabla 13. Principales indicadores por criterio de evaluación obtenidos en la clase

Del análisis de los resultados obtenidos, se observa que el criterio CE.BG.2.3 es el que peores y más irregulares resultados ha obtenido. Esto se puede explicar porque tan solo se ha medido por medio de cinco preguntas del cuestionario del examen, ya que no suponía una parte

importante del temario. Por otra parte, el criterio CE.BG.1.1 obtuvo resultados más dispares en el examen, reduciendo mucho en su evaluación los casos en que no se respondió a las preguntas cortas. Sin embargo, cuando se respondieron, en general se daban respuestas entre adecuadas y excelentes. En general, puede valorarse de forma muy positiva la evaluación de los criterios CE.BG.1.3, CE.BG.3.1, CE.BG.3.4 y CE.BG.3.5, que recogen principalmente las competencias nucleares de la actividad de Caminálculos y de los ejercicios del laboratorio de selección natural. De este último, algunas respuestas fueron de adecuadas pero muchas excelentes. En la muestra recogida en la Tabla 14, a la izquierda, se muestra una respuesta sin fundamentación de sus hipótesis, y a la derecha una con sus hipótesis bien fundamentadas.

5. Bird Species and Predicted Fitness in New Environments	
Bird A: Thick beak, dark feathers, strong claws (Southwest-adapted) Bird B: Thin beak, light feathers, long claws Bird C: Medium beak, patterned feathers, medium claws <u>Predictions:</u> Northeast: Most fit – Bird B; Least fit – Bird A Northwest: Most fit – Bird C; Least fit – Bird B Southeast: Most fit – Bird B or C; Least fit – Bird A	5. Describe your 3 bird species and discuss which birds you think will be most fit in each new environment and which will be less fit. Explain your reasoning. The first species's beak is short and wide and slightly curved, plumage is light green and they are small. This specie will survive better in southeast, this because if the food options and no predators to catch them. The second species's beak is medium small and very curved, plumage is light green and they are medium small. This species will survive better in the northeast because of the available food. The third species's beak is short and wide and slightly curved, plumage is light brown and they are medium small. This specie will survive better in the southeast because of the food and the color match (even if there are no predators).

Tabla 14. Respuesta a la pregunta 5, que evalúa CE.BG.3.1 en los ejercicios de laboratorio.

No obstante, las mejores calificaciones se obtienen en los criterios evaluados a través de la actividad de Caminálculos, que vertebra esta propuesta. Sin duda, debe destacarse el importante papel en ello de la evaluación continua. Sin duda, el principal instrumento de evaluación utilizado a lo largo de la secuencia didáctica es la rúbrica de observación. Con esta rúbrica, de la que utilicé una para cada alumno, pude tomar notas en las diferentes sesiones de cómo progresaba cada alumno, dándoles indicaciones del progreso esperado para cada uno de ellos; especialmente, en lo relativo a la participación en los grupos y entre los grupos, fue necesario incentivar la participación de los alumnos y alumnas más tímidos o inseguros.

Este instrumento fue, a mi modo de ver, el mejor para conocer el progreso del conocimiento del alumnado, permitiendo percibir una mejora global en la comprensión de los mecanismos evolutivos. Por ejemplo, en el criterio CE.BG.1.1, la mayoría de la clase comenzó en los niveles “Adecuado” o “Básico”, pero todos terminaron, aunque con diferentes ritmos de progreso, en el nivel “Excelente”. Las progresiones en general fueron positivas, con los únicos retrocesos en el apartado de Trabajo cooperativo y gestión del grupo, en el que, en algunos casos, se produjeron retrocesos por la escasa colaboración con el grupo. Fue en estos casos en los que, gracias a esta evaluación continua, pude avisar a los alumnos que se esperaba de ellos más participación. Esto contribuyó a que, finalmente, para este apartado que evaluaba CE.BG.3.5, la evaluación alcanzada fue de los niveles de “Excelente” o “Adecuado” para todo el grupo, siendo el criterio en que mejores calificaciones se alcanzaron finalmente.

Mientras que la evaluación inicial, como se ha visto, mostró una presencia de ideas alternativas ya adelantada por la bibliografía, con la totalidad del alumnado mostrando concepciones propias del pensamiento lamarckista o teleológico, en la evaluación intermedia realizada en la cuarta sesión el 70% del grupo ya lograba explicar la evolución como un resultado de la selección natural y la variabilidad intraespecífica. Este progreso, valorado en CE.BG.1.1, se había podido anticipar gracias a la observación en el aula durante las sesiones de Caminálculos.

A este respecto, el uso de Caminálculos parece ser muy útil para visualizar y entender mejor la evolución como divergencia entre linajes. En el examen final, el ejercicio dedicado a la comprensión de conceptos tuvo un promedio de aciertos del 82%, destacando los ítems de sobre selección natural y sus pruebas (fósiles, homologías y biogeografía).

Los resultados han evidenciado, como señalaban Fernández y Sanjosé (2007) o Karataş (2020), que el cambio conceptual no puede limitarse a la memorización de definiciones, sino a la reconstrucción de los modelos mentales del alumnado. En esta secuencia, la integración entre distintos enfoques metodológicos ha ayudado en este proceso de reestructuración cognitiva. Además, el modo de intervención docente como guía durante la actividad con Caminálculos ha favorecido la participación y motivación. Precisamente, Yates y Marek (2014) recomendaban la reflexión guiada y el contraste de resultados como factores determinantes para evitar la transmisión de concepciones erróneas.

Puede concluirse que se han alcanzado los objetivos previstos, logrando que se comprendiera la evolución a la luz de la teoría neodarwinista, desarrollando competencias de análisis e interpretación de datos científicos y, en particular, la capacidad de comunicación científica. La propuesta ha logrado un aprendizaje significativo y funcional, promoviendo una comprensión profunda del tema, reduciendo de forma comprobable las ideas alternativas iniciales y reforzando las competencias científicas.

VI. Análisis crítico de la propuesta didáctica y propuesta de mejora

La adaptación y aplicación de la secuencia *Chasing after Caminalcules* de Domènech (2019) me ha permitido comprobar cómo una secuencia didáctica cuidadosamente planificada puede materializarse en un aula real, y cómo debe adaptarse la planificación a los ritmos, particularidades y resistencias del aula. Desde la primera sesión la respuesta del alumnado fue reveladora: aunque mis clases magistrales estaban bien planificadas, evidentemente carecía de la soltura de su docente, y tuve que dedicarme constantemente a conseguir su atención. Sin embargo, los caminálculos despertaron su curiosidad y rápidamente se embarcaron en la secuencia ABP, lo que me confirmó que el enfoque de aprendizaje activo resulta muy adecuado para lograr la motivación de los estudiantes. También fue muy apreciado por ellos, de acuerdo con sus comentarios en el aula, el enfoque práctico y la resolución de problemas, ya que percibían la asignatura como excesivamente teórica.

La implantación, no obstante, también puso de relieve los límites de este diseño. Aunque los resultados del aprendizaje son satisfactorios, han persistido en algunos alumnos ideas alternativas que esta secuencia didáctica solo ha logrado matizar. Algunos razonamientos siguen siendo de inspiración lamarckiana y teleológica, como es de esperar de acuerdo con la bibliografía (Yates y Marek, 2014; Cofré y otros, 2013). No obstante, sí se logró, en todo caso, que los estudiantes se hicieran conscientes de sus explicaciones y las contrastaran con sus compañeros, en un verdadero ejercicio de práctica científica, lo que ya supone un paso significativo en el proceso de aprendizaje.

En general, debo hacer una valoración muy positiva del aprendizaje basado en problemas en general y, en particular, del estudio de caso dirigido. Esta metodología, aun siendo activa y promoviendo la autonomía en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumnado, otorga todavía un alto nivel de control al docente en el diseño del problema, algo que, como docente en prácticas, me ha proporcionado seguridad y certeza. Evidentemente, a ello ha contribuido también la adaptación de una propuesta de un experto, creada sobre una base, los caminálculos, que ya gozaba de una extensa bibliografía, análisis y validación didáctica.

Como se ha planteado en la descripción de las actividades, es evidente la falta de equilibrio entre ellas, y es que las clases magistrales podrían considerarse incluidas en la actividad Caminálculos, si esta actividad hubiera podido abarcar los conceptos temáticos que se abordan en las clases magistrales y no en Caminálculos (en las unidades del origen de la vida o evolución humana, por ejemplo). Es decir, no hubiera sido posible desarrollar todo el tema exclusivamente con Caminálculos y, de hecho, por esta razón decidí incorporar también el laboratorio virtual. Creo que, en aras de la simplificación e integración de las actividades, sería ideal disponer de más actividades con los caminálculos. El ejemplo más evidente sería la sustitución del laboratorio virtual por una simulación con estos mismos seres. Aunque no disponía de tiempo suficiente para la preparación de esta actividad, ni de los conocimientos para su desarrollo informático; que todos los conceptos del tema de la evolución se pudieran haber tratado a través de los caminálculos habría hecho esta actividad, evidentemente, mucho más completa.

Si bien todavía puede ampliarse el contexto, como se propone; cabe considerar el riesgo, como señalaron Sanmartí y Márquez (2017), de que el problema se centre excesivamente en los caminálculos y no se adquieran conocimientos generalizables. Su propuesta de resolución de

esta tensión entre las ideas científicas que se pretende que el alumnado aprenda y el contexto es orientar el APB hacia la construcción de modelos teóricos y grandes ideas, de forma que se evite la mera reproducción de saberes previos. Caminálculos, actualmente, satisface adecuadamente las necesidades que identifican: que el contexto produzca preguntas científicamente investigables, que tenga relación con las ideas clave y que conduzca a procesos de indagación, argumentación y modelización. No obstante, si se ampliara la secuencia Caminálculos, se haría necesario revisar que se mantienen estas características que sustentan su utilidad didáctica.

Un apartado sobre el que me hubiera gustado profundizar es la influencia del bilingüismo con la asimilación del conocimiento científico. Como he destacado, la expresión escrita de este grupo era muy buena gracias a su preparación bilingüe, y en consecuencia fueron muy capaces de formular hipótesis, especialmente en los ejercicios el laboratorio de evolución, y justificar sus conclusiones utilizando conceptos propios del tema, destacando las respuestas de examen. Lamentablemente, no tuve ocasión de trabajar con el grupo no bilingüe de 4º ESO porque sus sesiones eran en el mismo horario, aunque en otros cursos sí pude observar que, como me indicó mi tutora, la expresión escrita era, paradójicamente, superior en los grupos bilingües que en los no bilingües.

En cuanto a los instrumentos de evaluación, resultaron bastante útiles para valorar la progresión del aprendizaje, destacando la hoja de observación, mientras que el examen final reflejó una mejora general en la comprensión de los mecanismos evolutivos (como se ve en su aportación al criterio BE.BG.1.1). Creo que, en aplicación de la propuesta de Caminálculos, era de mayor importancia la observación sistemática de actitudes científicas y pensamiento crítico, que fue mi principal preocupación durante el desarrollo de las sesiones, más que en la perfecta resolución del problema.

VII. Consideraciones finales

Valoro muy positivamente tanto la realización de las prácticas docentes como la orientación que se da mediante el Trabajo de Fin de Máster a las mismas, favoreciendo la integración entre la teoría estudiada y la práctica docente. Indagar, desarrollar y aplicar esta propuesta didáctica sobre evolución me ha permitido comprender con mayor profundidad el significado de enseñar ciencias. La experiencia en el aula, con sus imprevistos, se ha convertido en un espacio privilegiado para la formación y, sobre todo, para asumir la necesidad de reconstruir continuamente la propia práctica.

El contacto con los estudiantes me ha ayudado a despojar la enseñanza de abstracción, y esto junto con la actividad de Caminálculos me ha convencido de la necesidad de convertir los conceptos científicos a situaciones de aprendizaje comprensibles, próximas a la vida diaria y costumbres de los alumnos y emocionalmente significativas. La secuencia de Caminálculos, aunque no lo había previsto, contó con un componente lúdico y un carácter de reto afrontado por toda la clase, que potenció su capacidad didáctica. Me hizo consciente de que el alumnado puede comprender fenómenos de gran complejidad si se le ofrecen suficientes recursos para la observación y la comparación, y que el rol de guía que se nos había propuesto en el desarrollo del máster era una realidad y no una mera aspiración. También ha sido una toma de conciencia la magnitud de las ideas alternativas y su peso en la ciencia escolar y la sociedad en general. Incluso tras aplicar esta propuesta, e insistir especialmente en ellas, algunos rastros de estas han persistido.

El trabajo realizado en muchas asignaturas del máster me ha servido para llevar a buen término esta propuesta, desde la planificación, el dominio del contenido, la gestión del aula, la capacidad comunicativa y, también, la permanente reflexión y reajuste de mi práctica docente. Este último ejercicio creo que ha sido el que más me ha permitido progresar en mis capacidades como docente, obligándome a justificar cada decisión didáctica, algo que también ha favorecido, como he señalado, la orientación que imprime este trabajo.

Más allá de los resultados obtenidos, la puesta en práctica de esta secuencia didáctica me ha permitido constatar que enseñar ciencias no puede quedarse en la mera transmisión de conceptos teóricos. Es necesario crear las condiciones para que el alumnado elabore su propio sentido de los fenómenos naturales. En ese proceso, los conceptos teóricos deben servir como medios, y no como fin. Los caminálculos, en este proceso, han sido no solo un recurso didáctico sino también mi forma ejemplarizante de comprender el proceso de enseñanza-aprendizaje.

De la realización de este trabajo destaco, por encima de todo, la certeza de que enseñar biología no consiste, únicamente, en explicar cómo funciona la vida y sus procesos, sino despertar el deseo de comprenderla, en cultivar la curiosidad y el pensamiento racional y que, como profesores, nuestra prioridad debe ser mantener viva esa curiosidad.

VIII. Referencias bibliográficas

- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios (Segunda ed.)*. Universitat de València.
- Baloco, C. y López, O. (2022). Ambientes virtuales con metodología de aprendizaje basado en problemas (ABP): Una estrategia didáctica para el fortalecimiento de competencias matemáticas de las herramientas multimedia interactivas para la enseñanza en educación preescolar. *Praxis*, 18(2). <https://dx.doi.org/10.21676/23897856.3919>.
- Bermúdez, J. (2021). El aprendizaje basado en problemas para mejorar el pensamiento crítico: revisión sistemática. *Innova Research Journal*, 6(2), 77-89. <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n2.2021.1681>.
- Campos, M. A., y Cortés, L. (2005). El abordaje de conocimiento abstracto de estudiantes preuniversitarios en el caso del tema de evolución en biología. *Paradigma*, 26(1), 169-200.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183-208. <http://hdl.handle.net/10498/16288>.
- Cliff, W. H., y Curtin, L. N. (2000). The directed case method. *Journal of College Science Teaching*, 30(1), 64.
- Cofré, H. L., Vergara, C. A., Santibáñez, D. P., y Jiménez, J. P. (2013). Una primera aproximación a la comprensión que tienen estudiantes universitarios en Chile de la Teoría de la Evolución. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 39(2), 67-83. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052013000200005>.
- CPI San Jorge. (2024). *Programación General Anual 24-25*. Zaragoza.
- Cros, A. (1996). La clase magistral: Aspectos discursivos y utilidad didáctica. *Signos. Teoría y práctica de la educación* (17), 22-29.
- Domènech, Jordi. (2019). *Aprendizaje basado en proyectos, trabajos prácticos y controversias. 28 propuestas y reflexiones para enseñar ciencias*. Editorial Octaedro.
- Fernández, J.J., y Sanjosé, V. (2007). Permanencia de ideas alternativas sobre evolución de las especies en la población culta no especializada. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (21), 129-149. <https://doi.org/10.7203/dces.21.2427>.
- Gallego, A., y Muñoz, A. (2015). Análisis de las hipótesis evolutivas en alumnos de Educación Secundaria y Bachillerato. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-54.
- Gándara, M. D. L., Gil, M. J., y Sanmartí, N. (2002). Del modelo científico de "adaptación biológica" al modelo de "adaptación biológica" en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 303-314. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3972>
- Gendron, R. P. (2000). The classification & evolution of caminalcules. *The American Biology Teacher*, 62(8), 570-576. <https://doi.org/10.2307/4450980>

- Ginnobili, S., González, L. y Ariza, Y. (2022). Do What Darwin Did. *Sci & Educ* 31, 597–617. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00186-8>
- Guamán, V. J., y Espinoza, E. E. (2022). Problem-based learning for the teaching-learning process. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 124-131.
- Herreid, C. F. (1994). Case studies in science-A novel method of science education. *Journal of college science teaching*, 23, 221-221.
- Orden ECD/1172/2022, de 2 de agosto, por la que se aprueban el currículo y las características de la evaluación de la Educación Secundaria Obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, 156, 27832-29022.
- Jordán, E. (2021). Propuesta de intervención educativa: aplicación de metodologías innovadoras en la enseñanza de Biología con estudiantes del Programa de Mejora del Aprendizaje y del Rendimiento Escolar. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, (19), 123-146. <https://doi.org/10.51302/tce.2021.618>.
- Karataş, A. (2020). Preservice science teachers' misconceptions about evolution. *Journal of Education and Training Studies*, 8(2), 38–45. <https://doi.org/10.11114/jets.v8i2.4690>.
- Marco, B., Borrás, S., y Mocholí, C. S. (2011). La evolución biológica en los libros de texto españoles de educación secundaria y bachillerato. Situación actual. *Revista de educación en biología*, 14(1), 23. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v14.n1.22320>.
- Observatorio Municipal de Estadística. (2024). *CIFRAS ZARAGOZA - Datos demográficos del padrón municipal de habitantes obtenidos a fecha 01-01-2024*. Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.
- Poot-Delgado, C. A., (2013). RETOS DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS. *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 18(2), 307-314.
- 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(1), 41571-41789.
- Sánchez, E. (1993). *Los textos expositivos. Estrategias para mejorar su comprensión*. Santillana.
- Sanmarti, N., y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista De Educación Científica*, 1(1), 3-16. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Thomas, N. J., y Vo, T. (2021). Using Simulations to Support Undergraduate Elementary Preservice Teachers' Biological Understanding of Natural Selection. *Bioscene: Journal of College Biology Teaching*, 47(1), 29-39.
- Yates, T. B., y Marek, E. A. (2014). Teachers teaching misconceptions: A study of factors contributing to high school biology students' acquisition of evolution-related misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s12052-014-0007-2>.

Anexo I. Recursos utilizados en Camiálculos

Todos los recursos utilizados pueden consultarse en:

https://docs.google.com/document/d/1dDJW_yatb_FT_03gSof6XwcTdJoRPu3DVHuE8EYuQuE/edit?tab=t.0

Caminálculos

Se utilizaron los caminálculos de la propuesta de Domènech (2019), tanto los vivos como los fósiles. Se prepararon en tablas para facilitar que se usaran recortados y que, además de visualizarlos en pantalla, se tuvieran físicamente por el alumnado. Se entregaron, para la primera actividad, los caminálculos vivos, y todos los demás, los fósiles, a partir de la actividad de cortes geológicos.

Árbol filogenético

El árbol filogenético de la actividad se ha adaptado del utilizado por Domènech (2019) en su propuesta didáctica, adaptado de Gendron (2000). En él se señalan los caminálculos entregados a cada grupo en sus colores, subrayado en gris aquellos de los que se dispone secuencia genética. Los caminálculos no señalados no se han utilizado en la propuesta didáctica de este trabajo.

Cortes geológicos

Se crearon nuevas actividades con cortes geológicos utilizando recursos disponibles en internet y de licencia libre, disponiendo algunos de los caminálculos fósiles asignados a cada grupo, tanto datados como sin datar, para que pudieran datarlos relativamente.

Secuencias genéticas

Se utilizaron las secuencias incluidas en la propuesta didáctica de Domènech (2019), excepto para los caminálculos que no se utilizaron en esta propuesta.

Anexo II. Examen de la actividad de clases magistrales

El examen se encuentra disponible en:

https://docs.google.com/document/d/1dDJW_yatb_FT_03gSof6XwcTdJoRPu3DVHuE8EYuQuE/edit?tab=t.vtmlgdgj4u1

Anexo III. Ejercicios del laboratorio virtual de evolución

Los ejercicios del laboratorio de virtual de evolución se encuentran disponibles en:

https://docs.google.com/document/d/1dDJW_yatb_FT_03gSof6XwcTdJoRPu3DVHuE8EYuQuE/edit?tab=t.k6c45hrt1z0d