



Universidad de Valladolid

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y
Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas

2024/2025

DESARROLLO DE UNA CLAVE DICOTÓMICA PARA UNA COLECCIÓN VIRTUAL DE FÓSILES Y SU USO COMO DOCENTE EN GEOLOGÍA

LAURA GARCÍA-TUÑÓN MARTÍNEZ

TUTORA: SUSET BARROSO SOLARES

The logo of the University of Valladolid (UVa) is a magenta square with the white text "UVa" inside.

UVa

RESUMEN.....	
ABSTRACT	
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	2
3 METODOLOGÍA UTILIZADA.....	3
3.1 RECOPIACIÓN DE FÓSILES.....	3
3.2 DESARROLLO DE LA CLAVE DICOTÓMICA	3
3.3 RECURSOS UTILIZADOS.....	4
4 JUSTIFICACIÓN	5
5 CONTEXTO LEGAL.....	6
5.1 NIVEL DE ENSEÑANZA, ASIGNATURA Y CONTENIDOS	6
5.2 COMPETENCIAS CLAVE Y ESPECÍFICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA DE 2º DE BACHILLERATO.....	7
5.3 NORMATIVA EDUCATIVA APLICABLE	9
6 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA.....	10
6.1 CONTENIDOS PALEONTOLÓGICOS	10
6.1.1 Conceptos básicos sobre fósiles y su importancia geológica	10
6.1.2 Principales grupos fósiles en la enseñanza de Bachillerato.....	11
6.2 DISEÑO DE LA CLAVE DICOTÓMICA DE FÓSILES.	16
6.2.1 Principios y funcionamiento de una clave dicotómica	16
6.2.2 Desarrollo de la clave dicotómica para la colección virtual de fósiles	16
6.2.3 Colección virtual de fósiles	19
6.3 USO DE TIC EN LA ENSEÑANZA DE LA PALEONTOLOGÍA	20
6.4 PROPUESTA DIDÁCTICA	23
6.4.1 Desarrollo y aplicación de la propuesta.....	23
6.4.2 Secuencia didáctica y temporalización	25
6.4.3 Objetivos didácticos y aprendizajes esperados.....	27
6.4.4 Metodologías de enseñanza-aprendizaje	29
6.4.5 Relación entre contenidos, competencias y criterios de evaluación	30
6.4.6 Estrategias de evaluación.....	33
6.4.7 Medidas de atención a la diversidad	35
6.4.8 Limitaciones a la propuesta didáctica	35
7 CONCLUSIONES.....	36
8 BIBLIOGRAFÍA.....	37
9 ANEXOS.....	39

RESUMEN

Este trabajo desarrolla una propuesta didáctica innovadora para la asignatura de Geología de Segundo de Bachillerato. La propuesta se centra en la creación y aplicación de una clave dicotómica para la identificación de fósiles en una colección virtual, con el objetivo de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos paleontológicos.

El proyecto se alinea con el currículo oficial de Bachillerato, donde el estudio de fósiles desempeña un papel crucial en la reconstrucción del pasado geológico y constituye una parte evaluable en las pruebas de acceso a la universidad (PAU). La metodología propuesta fomenta un aprendizaje activo y significativo, en el que el alumnado desarrolla competencias esenciales como la observación, el análisis y la clasificación, pilares fundamentales en el estudio de la Geología.

La clave dicotómica desarrollada con recursos digitales favorece el pensamiento crítico, la autonomía del estudiante y una comprensión estructurada, siendo especialmente útil en el estudio de la diversidad fósil y en centros con recursos materiales limitados.

ABSTRACT

This paper presents a didactic proposal for the Geology course in the second year of Spanish upper secondary education (2.º de Bachillerato). The proposal focuses on designing and implementing a dichotomous key for fossil identification within a virtual collection, aiming to optimize paleontological teaching and learning.

Aligned with the official curriculum, this project highlights the crucial role of fossils in reconstructing geological history and their assessable nature in university entrance examinations (PAU). The proposed methodology fosters active, meaningful learning, enabling students to develop essential skills like observation, analysis, and classification—fundamental in Geology.

The digital dichotomous key promotes critical thinking, student autonomy, and structured understanding of fossil diversity. This tool not only enhances these abilities but also democratizes access to paleontological study, overcoming material limitations and reaching a broader student audience.

1 INTRODUCCIÓN

Los fósiles; testigos del pasado, claves del presente y, señales para el futuro, pero, aun así, relegados al olvido.

A menudo, cuando se menciona la palabra “fósil”, la mayoría de las personas piensa en un gigantesco dinosaurio esquelético expuesto en un museo, pero la Paleontología va mucho más allá. Los fósiles no solo revelan la historia de la vida en la Tierra, también permiten reconstruir paisajes desaparecidos, comprender extinciones masivas y predecir cambios ambientales futuros. A pesar de su importancia, en el ámbito educativo, su estudio se reduce a una memorización de nombres y características, perdiendo su enorme potencial didáctico y científico.

El estudio de los fósiles es un pilar fundamental en la enseñanza de la Geología en Bachillerato. Además, el reconocimiento e identificación de fósiles es un contenido clave dentro del currículo de Bachillerato y forma parte de las pruebas de acceso a la Universidad. Sin embargo, la enseñanza de estos contenidos suele presentar ciertas dificultades, tanto por la disponibilidad limitada de ejemplares físicos en los centros educativos como por la necesidad de desarrollar habilidades de observación y clasificación específicas.

En este contexto, el presente trabajo Fin de Máster (TFM), propone el diseño y aplicación de una clave dicotómica basada en una colección virtual de fósiles como recurso didáctico para la enseñanza de la Geología. Esta colección desarrollada a partir de modelos tridimensionales disponibles en la plataforma Sketchfab, ([Sketchfab - The best 3D viewer on the web](#)) permite a los estudiantes explorar e identificar los fósiles de manera interactiva, superando las limitaciones del material físico favoreciendo un aprendizaje más visual y dinámico.

A lo largo de este trabajo, se presentará el desarrollo de la clave dicotómica y la colección virtual. Con ello se pretende contribuir a la innovación educativa en la enseñanza de Geología, potenciando el uso de tecnologías digitales para mejorar la comprensión y el estudio de los fósiles en el ámbito escolar.

2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

El siguiente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal desarrollar una clave dicotómica para la identificación fósiles, basada en modelos tridimensionales interactivos accesibles en la plataforma Sketchfab. Esta herramienta busca fomentar un aprendizaje autónomo, visual y significativo en el contexto de la enseñanza de la Geología en 2º de Bachillerato.

A partir de este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- **Facilitar el aprendizaje activo en Geología:** Los alumnos podrán mejorar habilidades de observación y clasificación a través de un enfoque diferente, práctico y visual que les permita evaluar su propio progreso.
- **Mejorar la enseñanza de la Paleontología en el aula de Bachillerato:** Los docentes tendrán al alcance una nueva metodología didáctica que supere las limitaciones de los materiales en los centros educativos, usando recursos digitales accesibles a las necesidades del alumnado.
- **Aportar un recurso innovador para la preparación de la Prueba de Acceso a la Universidad (PAU):** La clave dicotómica es una herramienta útil y práctica que permite a los alumnos que se presentan a la optativa de Geología en el examen de acceso a la Universidad familiarizarse con los fósiles de manera eficaz, diseñando simulacros de examen que incluyan preguntas sobre la identificación de fósiles.
- **Fomentar el uso de herramientas digitales en la educación:** Esta clave puede ser adaptada a las necesidades de cada contexto educativo.
- **Evaluar el impacto de la clave dicotómica digital en el aprendizaje:** Analizar cómo el uso de esta herramienta afecta a la comprensión y el rendimiento del alumnado en relación con la identificación de fósiles y los conceptos clave de la Paleontología.

3 METODOLOGÍA UTILIZADA

3.1 RECOPIACIÓN DE FÓSILES

La colección de fósiles utilizada en este estudio se obtuvo del IES Andrés Laguna ([ANEXO D](#)), centro implicado en la realización del periodo de prácticas. La selección de los ejemplares se basó en los siguientes criterios:

- Diversidad: Se priorizaron fósiles que representaran diferentes tipos de organismos (vertebrados, invertebrados, vegetales, microorganismos etc.).
- Representatividad: Se seleccionaron los fósiles que eran característicos de los grupos taxonómicos que representaban.
- Estado de conservación: Se tuvieron en consideración los ejemplares que presentaban un buen estado, permitiendo la observación de sus características morfológicas.

3.2 DESARROLLO DE LA CLAVE DICOTÓMICA

El desarrollo de la clave dicotómica de este trabajo parte de una necesidad pedagógica concreta: facilitar la identificación de fósiles por parte de los alumnos de Secundaria y Bachillerato, especialmente en contextos en los que no se dispone de material fósiles real. A través del uso de tecnologías digitales y entornos visuales, se plantea una herramienta accesible que permite al estudiante recorrer de forma guiada las principales morfologías fósiles mediante una estructura lógica de elección binaria.

La clave dicotómica se ha realizado siguiendo la metodología clásica de clasificación taxonómica utilizada en la especialidad de Paleontología, donde cada paso presenta dos opciones excluyentes (dicotomía), permitiendo al usuario tomar decisiones sucesivas en función de características morfológicas de la colección virtual visibles. Esta estructura es adecuada en el ámbito de la educación, ya que promueve el pensamiento crítico, la observación detallada y el razonamiento. El formato dicotómico, por lo tanto, no solo es una herramienta de identificación, sino que también cumple una función formativa al estimular habilidades cognitivas en el aprendizaje.

Cada nivel de la clave ha sido estructurado cuidadosamente para seguir una progresión lógica y jerárquica. En los primeros pasos, se proponen criterios generales de clasificación

fácilmente observables. Posteriormente, se introdujeron características morfológicas más específicas como la ornamentación de la concha, la forma del caparazón, o la presencia de perforaciones, cámaras internas o líneas de sutura. Esta secuencia progresiva permite a los estudiantes avanzar desde lo general a lo particular, lo cual es coherente con los principios del aprendizaje por descubrimiento.

En resumen, la clave dicotómica desarrollada constituye un recurso pedagógico diseñado con base en criterios científicos, metodológicos y educativos. Su diseño busca facilitar la identificación de fósiles.

3.3 RECURSOS UTILIZADOS

- Colección de fósiles del IES Andrés laguna
- Cámara fotográfica
- Programas informáticos: Sketchfab y Google Sites.
- Guías de texto de identificación de fósiles proporcionadas por asociaciones como *EDUCA EN VERDE*, Segovia ([ANEXO II](#)).

4 JUSTIFICACIÓN

Vivimos en una época de avances tecnológicos donde la realidad virtual y la inteligencia artificial nos permiten explorar y descubrir mundos desconocidos. Sin embargo, en la enseñanza de la paleontología, nos aferramos a métodos anticuados e inadecuados, privando a los estudiantes de la emoción que esta ciencia acarrea.

Los materiales didácticos tradicionales, con frecuencia, no logran capturar la imaginación de los estudiantes ni transmitir la tridimensionalidad de los fósiles, es decir, cómo era realmente su anatomía y fisiología en la época en la que existieron. Esta carencia se debe, en la mayoría de los casos, a la escasez de colecciones fósiles accesibles en los centros educativos. La sociedad cada vez está más dominada por la tecnología, por lo que la educación debe adaptarse a nuevas estrategias, herramientas y metodologías incluyendo ciencias como la Paleontología, ya que es de vital importancia revitalizar su enseñanza para transmitir los conocimientos en los jóvenes y despertar la curiosidad sobre la vida pasada.

El uso de tecnologías emergentes como la impresión 3D se ha revelado como una herramienta didáctica altamente efectiva en la enseñanza de disciplinas científicas como la Geología, ya que permite transformar conceptos abstractos en modelos físicos tangibles, facilitando el aprendizaje en los alumnos (Barroso-Solares et al., 2024).

La clave dicotómica facilita la identificación de fósiles, promueve el desarrollo de habilidades de observación, análisis y clasificación, competencias fundamentales en la formación científica. Además, el uso de aplicaciones como Sketchfab, nos permite la creación de un laboratorio virtual, facilitando el aprendizaje incluido con el uso de teléfonos móviles considerándolos vehículos de aprendizaje (Ortiz et al., 2018). Para que el aprendizaje sea considerado significativo, los estudiantes deben desempeñar tareas de cooperación, auténticas y constructivas, para que puedan reconocer y resolver problemas, regulando sus aprendizajes (Suárez & Gnaedinger, 2024).

Por último, este TFM busca encender la chispa de la pasión por la paleontología en las nuevas generaciones tanto en alumnos como docentes. Al hacerlo, no solo enriqueceremos la educación, también aseguramos la preservación y el avance de esta ciencia para comprender nuestro lugar en el planeta.

5 CONTEXTO LEGAL

5.1 NIVEL DE ENSEÑANZA, ASIGNATURA Y CONTENIDOS

El marco legislativo en el cual se enmarca la realización de esta propuesta se corresponde a la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE). La realización de esta propuesta es adecuada para la asignatura de Geología y Ciencias Ambientales del segundo curso de Bachillerato, materia específica de la Modalidad de Ciencias y Tecnología, cuyo currículo se establece según el DECRETO 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.

La asignatura de Geología y Ciencias Ambientales de 2.º de Bachillerato tiene como objetivo fomentar en el alumnado el estudio del planeta Tierra (análisis de su composición y estructura, dinámica de los procesos geológicos internos y externos que ocurren y han ocurrido a lo largo de su historia geológica, y su influencia sobre el relieve), además de las principales amenazas sobre su biodiversidad para implementar medidas necesarias y así revertir este proceso, enmarcadas dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Los contenidos de esta materia, definidos por los criterios de evaluación (DECRETO 40, 2022) integran conocimientos, habilidades y actitudes esenciales para el desarrollo de las competencias específicas.

Los contenidos relacionados con la actividad de elaboración de una clave dicotómica de fósiles se pueden enmarcar principalmente en el bloque A “Experimentación en Geología y Ciencias Ambientales”, el bloque D “Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas” y el bloque F “Geología histórica” según el DECRETO 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.

Los contenidos relevantes para esta actividad se incluyen de la siguiente manera:

En el **bloque A** “Experimentación en Geología y Ciencias ambientales” se incluyen:

- Fuentes de información geológica y ambiental (mapas, cortes, fotografías aéreas, cartografía, textos, posicionamiento e imágenes de satélite, diagramas de flujo, etc.): búsqueda, reconocimiento, utilización e interpretación. Teledetección.
- Herramientas de representación de la información geológica y ambiental: columna estratigráfica, corte, mapa, diagrama de flujo, etc.
- Patrimonio geológico y medioambiental de Castilla y León. Valoración de su importancia y de la conservación de la geodiversidad.
- Trabajo científico y las personas dedicadas a la ciencia: contribución al desarrollo de la geología y las ciencias ambientales e importancia social. Papel de la mujer.

En el **bloque D** “Rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas” se incluyen:

- Sedimentación y rocas sedimentarias. Cuencas de sedimentación y ambientes deposicionales. Diagénesis. Estrato y Estratigrafía. Principales rocas sedimentarias.
- Procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación).

En el **bloque F** “Geología histórica” se incluyen:

- Medida del tiempo en Geología: datación relativa y absoluta. Unidades cronoestratigráficas y geocronológicas. Principios estratigráficos.
- La Tierra en los eones Arcaico, Proterozoico y Fanerozoico.
- Cortes geológicos: interpretación y resolución.

La elaboración de una clave dicotómica de fósiles permite a los estudiantes aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos de estos tres bloques, desarrollando habilidades de observación, clasificación y análisis, esenciales para la comprensión de la paleontología y la geología histórica principalmente.

5.2 COMPETENCIAS CLAVE Y ESPECÍFICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA DE 2º DE BACHILLERATO.

Las competencias clave y específicas asociadas a la enseñanza de la Geología en 2.º de Bachillerato, de acuerdo con la LOMLOE y el currículo de la Junta de Castilla y León son las siguientes:

1. **CCL** – Competencia en comunicación lingüística
2. **CP** – Competencia plurilingüe
3. **STEM** – Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología
4. **CD** – Competencia digital
5. **CPSAA** – Competencia personal, social y de aprender a aprender
6. **CC** – Competencia ciudadana
7. **CE** – Competencia emprendedora
8. **CCEC** – Competencia en conciencia y expresión culturales

Tabla 1. Competencias específicas de Geología en 2º de Bachillerato y sus competencias clave asociadas (Adaptado de Junta de Castilla y León (2022)).

Nº	Competencia Específica	Competencias Asociadas	Clave
1	Aplicar pensamiento científico para analizar e interpretar datos geológicos en diversos formatos.	CCL, CP, STEM, CD, CPSAA	
2	Resolver problemas relacionados con los contenidos mediante investigación rigurosa, ética y crítica.	CCL, CP, STEM, CD, CPSAA, CC, CE	
3	Evaluar investigaciones geológicas y valorar su impacto social y ético.	CCL, STEM, CPSAA, CC	
4	Utilizar herramientas TIC para representar y resolver fenómenos geológicos.	CCL, STEM, CD, CPSAA	
5	Adoptar hábitos sostenibles valorando críticamente la explotación de recursos geológicos.	STEM, CC, CE, CPSAA	
6	Interpretar la historia geológica de una zona a partir de datos visuales y cartográficos.	CCL, CP, STEM, CD, CC, CE, CCEC	

5.3 NORMATIVA EDUCATIVA APLICABLE

La propuesta didáctica “Desarrollo de una clave dicotómica para una colección virtual de fósiles y su uso como docente en Geología” se fundamenta en la normativa educativa vigente. En primer lugar, en la *Ley Orgánica 3/2020 (LOMLOE)*, que introduce los principios de una educación basada en competencias. Asimismo, en el *Real Decreto 243/2022*, del 5 de abril, que regula la ordenación y enseñanzas mínimas de Bachillerato a nivel estatal, estableciendo las competencias específicas, los criterios de evaluación y los saberes básicos.

A nivel autonómico, se sustenta en el *Decreto 40/2022*, de 29 de septiembre, por el que se regula la ordenación y el currículo de Bachillerato en de Castilla y León, adaptando la normativa estatal al contexto regional. Asimismo, en la *Orden EDU/1102/2022*, de 6 de septiembre, que desarrolla el currículo de las distintas materias, entre ellas Geología y Ciencias Ambientales, definiendo competencias, saberes y criterios de evaluación.

Finalmente, esta propuesta se alinea con los principios de la *Agenda 2030* y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que impulsa una educación comprometida con la sostenibilidad, el conocimiento científico y la formación de ciudadanía responsable. (Junta de Castilla y León, 2022).

6 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

6.1 CONTENIDOS PALEONTOLÓGICOS

6.1.1 Conceptos básicos sobre fósiles y su importancia geológica

Los fósiles son restos, huellas u otros indicios de organismos que vivieron en épocas geológicas pasadas. También pueden considerarse fósiles aquellas especies que, pese a estar presentes en la actualidad, conservan características muy similares a sus antecesores antiguos. La fosilización es el proceso por el cual estos restos de organismos vivos se conservan a lo largo del tiempo y se transforman en fósiles. Es un proceso cíclico natural que se da en rocas sedimentarias y depende de condiciones fisicoquímicas del ambiente sedimentario (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, s.f.).

Los fósiles otorgan una gran importancia por diferentes razones:

- 1. Registro histórico de la vida en la Tierra:** Son testigos de la evolución y los cambios ambientales a lo largo de millones de años, permitiendo construir eventos pasados, identificar especies extintas, documentar extinciones y comprender interacciones entre organismos y el entorno.
- 2. Herramientas de datación estratigráfica:** Gracias a la ciencia de la bioestratigrafía, los fósiles pueden poner fecha a las rocas correlacionadas entre distintas regiones geográficas, pudiendo construir la escala temporal geológica.
- 3. Valor patrimonial y educativo:** El patrimonio paleontológico forma parte del patrimonio natural, no cultural, salvo excepciones como fósiles humanos o yacimientos asociados al género *Homo*. Esta distinción es clave para aplicar normativas adecuadas para su conservación e integrar los fósiles en la gestión del territorio y educación ambiental. (E Díaz-Martínez et al., 2013).



Figura 1. Un niño de 7 años descubre en su jardín un fósil *jurásico* de hace 140 millones de años, National Geographic España 2025.

6.1.2 Principales grupos fósiles en la enseñanza de Bachillerato

Para la enseñanza de la Paleontología en 2.º de Bachillerato se recurre al estudio de diversos grupos de fósiles con alto valor didáctico. En este apartado, se presentan los principales grupos seleccionados a partir de una lista teórica que otorgó el instituto Andrés Laguna, junto con los ejemplares de fósiles incluidos en dicha colección. ([ANEXO III](#)).

1. MOLUSCOS

BIVALVIA

Nombre del Fósil	Época/Período
Cardita sp.	Devónico
Exogyra sp.	Cretácico
Ostrea sp.	Cretácico
Pecten jacobaeus	Mioceno
Trigonia sp.	Jurásico-Cretácico

GASTROPODA

Nombre del Fósil	Época/Período
Nassa sp.	Mioceno
Planorbis sp.	Paleoceno-Reciente
Turitella sp.	Cretácico-Reciente

2. CEFALÓPODOS

Nombre del Fósil	Época/Período
Ammonites	Mesozoico
Belemnites	Mesozoico
Goniatites	Paleozoico
Orthoceras	Paleozoico

3. BRAQUIÓPODOS

Nombre del Fósil	Época/Período
Pygope	Paleozoico
Rhynchonella	Paleozoico
Spirifer	Paleozoico
Terebratula	Paleozoico

4. EQUINODERMOS

Nombre del Fósil	Época/Período
Clypeaster	Cretácico
Heteraster	Cretácico
Micraster	Cretácico

5. CNIDARIOS

Nombre del Fósil	Época/Período
Celentéreos fosilíferos	Cretácico
Corales rugosos/tabulados	Paleozoico
Cyclolites	Cretácico
Placosmilia	Cretácico

6. PORÍFEROS Y ARQUEOCIATOS

Nombre del Fósil	Época/Período
Arqueociatos	Cámbrico

7. PLANTAS FÓSILES

Nombre del Fósil	Época/Período
Annularia	Carbonífero
Calamites	Carbonífero
Lepidodendron	Carbonífero
Neuropteris	Carbonífero
Stigmaria	Carbonífero

8. MICROFÓSILES

Nombre del Fósil	Época/Período
Conodontos	Paleozoico
Fusulinas	Paleozoico
Glaucônia	Cretácico
Nummulites	Cretácico

9. VERTEBRADOS FÓSILES

Nombre del Fósil	Época/Período
Diente de Carcharodon	Mioceno
Dentadura de Hipparion	Mioceno

10. ARTRÓPODOS

Nombre del Fósil	Época/Período
Cruziana (Icnofósil)	Paleozoico
Trilobites	Paleozoico

11. OTROS FÓSILES Y ROCAS FOSILÍFERAS

Nombre del Fósil	Época/Período
Caliza fosilífera	Cretácico
Oligisto fosilífero	Paleozoico

Esta selección de grupos fósiles ofrece una panorámica amplia y estructurada de la biodiversidad del pasado, permitiendo trabajar con los estudiantes los conceptos clave de la Paleontología en relación con la escala temporal geológica, la evolución, y los procesos de fosilización.

6.2 DISEÑO DE LA CLAVE DICOTÓMICA DE FÓSILES.

6.2.1 Principios y funcionamiento de una clave dicotómica

Una clave dicotómica es una herramienta ampliamente utilizada en ciencias naturales para la identificación de organismos basada en una serie de preguntas organizadas de forma secuencial, en las que cada una ofrece dos opciones que describen características clave del organismo. Tras elegir la opción que mejor se ajusta, el usuario procede al siguiente par de opciones hasta que finalmente se identifica el nombre del taxón.

Dado que una clave está destinada a identificar cada uno de los taxones, alcanzará mayor rendimiento cuando el número medio de pasos para su identificación sea el mínimo (Sinh et al., 2017).

6.2.2 Desarrollo de la clave dicotómica para la colección virtual de fósiles

Para el desarrollo de la clave dicotómica se partió de una selección de fósiles virtuales disponibles en la plataforma Sketchfab, que ofrece modelos interactivos de alta calidad.

La colección de fósiles ha sido seleccionada teniendo en cuenta los contenidos del temario de 2.º de Bachillerato con el objetivo de reforzar el aprendizaje de los principales grupos fósiles tratados en el aula. Además, se ha elaborado una ficha técnica para cada fósil, accesible a través de Google Sites, como recurso de apoyo al estudio. La clave dicotómica que se presenta para esta propuesta es la siguiente:

CLAVE DICOTÓMICA DE FÓSILES

1.
 - a) Restos de plantas fósiles o huellas de actividad biológica 2
 - b) Restos de organismos animales (con concha, esqueleto o cuerpo) 9
2.
 - a) Estructuras vegetales (tallos, raíces, hojas) 3
 - b) Icnofósiles (huellas, rastros, actividad biológica)8
3.
 - a) Tallo articulado en segmentos finos..... Annularia – Carbonífero
 - b) Tallo o raíz más robusto 4

- 4.**
 - a) Tallo largo acanalado Calamites – Carbonífero
 - b) Estructura con aspecto de raíz o fronda 5
- 5.**
 - a) Raíz con ramificación rizoidal Stigmaraia – Carbonífero
 - b) Fronda o estructura laminar 6
- 6.**
 - a) Fronda con venación en abanico Neuropteris – Carbonífero
 - b) Tronco o tallo con escamas romboidales Lepidodendron – Carbonífero
 - c) Ninguna de las anteriores..... 7
- 7.**
 - a) Estructura con detalles foliares visibles..... Neuropteris – Carbonífero
 - b) Estructura sin detalles foliares 8
- 8.**
 - a) Huella en forma de galería o surco sobre sedimento Cruziana – Paleozoico
 - b) Exoesqueleto segmentado fósil Trilobites – Paleozoico
- 9.**
 - a) Organismos con simetría radial o estructura porosa 10
 - b) Organismos con simetría bilateral (valvas o espiras) 15
- 10.**
 - a) Esqueleto calcáreo poroso o coralino 11
 - b) Esqueleto discoidal con simetría pentarradial 12
- 11.**
 - a) Coral con tabiques visibles o estructura ramificada..... Corales rugosos/tabulados – Paleozoico
 - b) Coral masivo o con estructura nodular 13
- 12.**
 - a) Forma de panal masivo o hemisférico Cyclolites – Cretácico
 - b) Coral solitario con forma cónica o tubular Placosmilites – Cretácico
- 13.**
 - a) Estructura coralina mal definida o general Celentéreos fosilíferos – Cretácico
 - b) Estructura radial discoidal con patrón de estrella 14
- 14.**
 - a) Forma ovalada abombada Heteraster – Cretácico
 - b) Forma redondeada con patrón estrellado Micraster – Cretácico

15.	
a) Concha formada por dos valvas (bivalvos o braquiópodos)	16
b) Concha univalva en espiral o tubular (gasterópodos o cefalópodos)	25
16.	
a) Concha con pedúnculo, simetría bilateral desigual (braquiópodos)	17
b) Concha sin pedúnculo, valvas libres (bivalvos)	21
17.	
a) Concha con pliegue central prominente	Rhynchonella – Paleozoico
b) Concha sin pliegue central	18
18.	
a) Concha globosa con abertura peduncular	Terebratula – Paleozoico
b) Concha con ornamentación visible	19
19.	
a) Concha con espiras laterales	Spirifer – Paleozoico
b) Concha más plana y con ornamentación radial	Pygope – Paleozoico
21.	
a) Concha con costillas radiales o forma de abanico	22
b) Concha irregular o muy plana	24
22.	
a) Costillas finas y simétricas, forma de abanico	Pecten jacobaeus – Mioceno
b) Costillas gruesas y espinosas	23
23.	
a) Ornamentación con espinas, concha robusta	Trigonia sp. – Jurásico–Cretácico
b) Costillas concéntricas, concha ovalada	Cardita sp. – Devónico
24.	
a) Valva gruesa y curvada asimétricamente	Exogyra sp. – Cretácico
b) Valva delgada y redondeada	Ostrea sp. – Cretácico
25.	
a) Concha en espiral no segmentada (gasterópodos)	26
b) Concha segmentada con cámaras internas (cefalópodos)	30
26.	
a) Espira alta, forma de torre	Turitella sp. – Cretácico–Reciente
b) Espira más baja y ovalada	27
27.	
a) Espira redondeada, con superficie lisa	Nassa sp. – Mioceno
b) Espira plana y en forma de disco	Planorbis sp. – Paleoceno–Reciente

- 30.**
a) Concha recta o ligeramente curva 31
b) Concha enrollada en espiral con cámaras visibles 33
- 31.**
a) Concha recta larga (tubo) Orthoceras – Paleozoico
b) Concha en forma de proyectil corta 32
- 32.**
a) Concha interna en forma de dardo Belemnites – Mesozoico
- 33.**
a) Espira simple con líneas finas Goniatites – Paleozoico
b) Espira compleja con costillas prominentes Ammonites – Mesozoico
- 34.**
a) Tamaño microscópico 35
b) Restos de vertebrados (dientes, huesos) 37
- 35.**
a) Forma espiral con cámaras Nummulites – Cretácico
b) Forma fusiforme o acicular 36
- 36.**
a) Forma alargada fusiforme Fusulinas – Paleozoico
b) Forma cónica o verde Glauconia – Cretácico
- 37.**
a) Diente curvo, puntiagudo, dentado Diente de Carcharodon – Mioceno
b) Diente plano con superficie de masticación Dentadura de Hipparion – Mioceno
- 38.**
a) Roca calcárea con fósiles visibles Caliza fosilífera – Cretácico
b) Roca ferruginosa con restos fósiles Oligisto fosilífero – Paleozoico

6.2.3 Colección virtual de fósiles

Para la realización de la colección de fósiles se ha utilizado la plataforma Sketchfab, que ofrece modelos tridimensionales interactivos de alta calidad. Se han seleccionado especies que se ajustan a los contenidos del currículo de 2.º de Bachillerato, agrupadas en once grupos principales.

Como recurso complementario para facilitar al estudio del alumnado, se ha creado un Google Sites donde se han elaborado fichas técnicas individuales de cada fósil. Estas fichas

incluyen descripciones morfológicas, información paleobiológica e imágenes. Su objetivo es servir de apoyo al aprendizaje autónomo y la comprensión virtual de los contenidos.

- La colección de fósiles en Sketchfab puede consultarse en: <https://skfb.ly/pxN96> (ANEXO IV).
- Las fichas técnicas de apoyo están disponibles en: <https://sites.google.com/view/fichas-tecnicas-clave-virtual/inicio> (ANEXO V).

6.3 USO DE TIC EN LA ENSEÑANZA DE LA PALEONTOLOGÍA

Durante la última década, la innovación pedagógica basada en el uso de recursos digitales en la enseñanza de las ciencias ha cobrado relevancia creciente. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de herramientas tecnológicas puede potenciar la comprensión de conceptos complejos y fomentar una mayor implicación del alumnado.

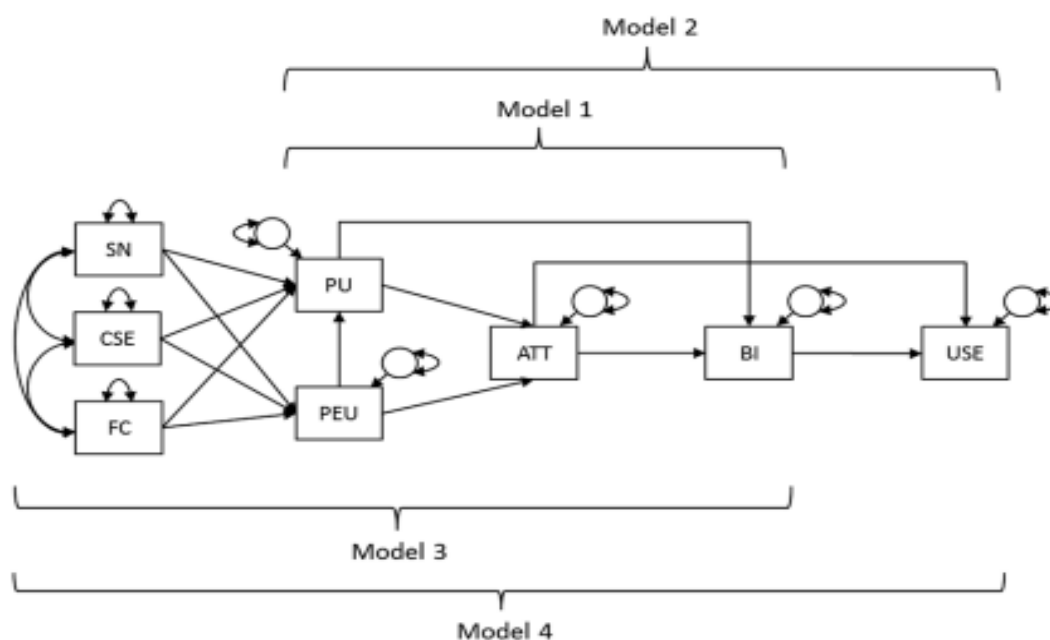


Figura 2. Modelos de aceptación Tecnológica (TAM). Scherer et al., 2019).

En algunos estudios, se ha analizado el impacto de entornos virtuales en el aprendizaje de las ciencias naturales como la Biología y la Geología, concluyendo que aquellos con elementos interactivos como simulaciones o claves, mejoraban el aprendizaje autónomo y la retención de conceptos. De esta manera, la implementación de claves dicotómicas virtuales no solo podría enriquecer la experiencia del estudiante, sino también puede

aumentar la percepción de utilidad entre los docentes, un factor clave que influye en la adopción de tecnologías en el aula (Scherer et al., 2019).

La Figura 2 muestra cómo han evolucionado los Modelos de Aceptación Tecnológica (TAM), que se usan para entender cómo el profesorado adopta la tecnología en el aula.

Estos son los conceptos más importantes:

- **PU (Utilidad Percibida):** La percepción de que la tecnología ayuda a desempeñar mejor el trabajo.
- **PEU (Facilidad de Uso Percibida):** La idea de que la tecnología resulta sencilla de utilizar.
- **ATT (Actitud hacia el Uso):** Opinión o disposición personal respecto al uso de la tecnología.
- **BI (Intención de Uso):** La probabilidad de que el usuario quiera usar la tecnología.
- **USE (Uso Real):** El uso efectivo de la tecnología en contextos reales.

Los modelos explican lo siguiente:

1. **Modelo 1 (Básico):** La utilidad y facilidad influyen en la actitud; la actitud y utilidad influyen en la intención de usar; y esta intención lleva al uso real. Se nota que la relación directa entre intención y uso puede ser débil.
2. **Modelo 2 (Con Influencia Directa):** Añade que la tecnología puede influir directamente en el uso, no solo a través de la intención.
3. **Modelo 3 (Con Variables Externas):** Además de lo básico, incluye factores externos que afectan la utilidad y facilidad:
 - **SN (Norma Social):** La presión de otras personas para usar la tecnología.
 - **CSE (Autoeficacia Informática):** La confianza en usar computadoras.
 - **PC (Masa Crítica):** La percepción de que muchas personas ya usan la tecnología.
4. **Modelo 4 (Completo):** Combina todos los puntos anteriores para dar una visión más completa de cómo los profesores aceptan la tecnología.

En resumen, la figura muestra cómo el modelo TAM pasó de ser un modelo sencillo a uno más completo, incorporando factores externos e influencia directa de la tecnología, para comprender mejor cómo los profesores adoptan las herramientas tecnológicas (Scherer et al., 2019).

Desde un enfoque más específico de la paleontología, Krell & Krüger (2016) (Puig et al., 2020) analizaron cómo una intervención didáctica modificaba la comprensión que tenían los estudiantes sobre los procesos que forman de fósiles. Las conclusiones principales que desarrollaron fueron:

1. **Mejora significativa en la comprensión:** Después de la intervención (que consistió en actividades prácticas y discusiones guiadas sobre los diferentes mecanismos de fosilización) los estudiantes mostraron una mejora significativa en su capacidad para explicar correctamente cómo se forman los fósiles.
2. **Persistencia de ciertas concepciones alternativas:** A pesar de la mejora global, persistieron algunas ideas equivocadas.
3. **Efectividad de las actividades prácticas:** Los autores resaltan que las tareas que incorporaban muestras reales (fragmentos de conchas, huesos) y fueron las que mayor impacto tuvieron en la corrección de conceptos erróneos.
4. **Implicaciones pedagógicas**
 - Recomiendan integrar este tipo de intervenciones en los cursos de ciencias naturales, combinando trabajo de campo con laboratorios de simulación.
 - Aconsejan dedicar más tiempo a discutir explícitamente las escalas de tiempo geológico y los factores físicos.
 - Sugieren realizar evaluaciones formativas previas y posteriores para identificar concepciones alternativas que persisten.
5. **Limitaciones y líneas futuras**
 - El estudio se realizó con una muestra relativamente pequeña y en un solo contexto educativo, por lo que proponen replicar la intervención en diferentes niveles y tipos de institutos.
 - Plantean investigar el efecto a largo plazo, midiendo la retención de conceptos pasadas varias semanas o meses de finalizada la intervención.

6.4 PROPUESTA DIDÁCTICA

Esta sección detalla la propuesta didáctica diseñada para la enseñanza y el aprendizaje de la Paleontología en 2.º de Bachillerato utilizando una clave dicotómica para la identificación de fósiles en una colección virtual. La propuesta se centra en fomentar un aprendizaje activo, significativo y autónomo, integrando recursos digitales y metodologías participativas.

6.4.1 Desarrollo y aplicación de la propuesta

El desarrollo de esta propuesta didáctica se ha basado en la identificación de una necesidad pedagógica: facilitar la comprensión y la identificación de la diversidad fósil de una manera atractiva para los alumnos.

6.4.1.1 Fases del Desarrollo:

1. **Selección y digitalización de la colección de fósiles:** Se partió de una colección de fósiles (en este caso, virtualizada en Sketchfab) representativa de diferentes grupos y períodos geológicos. La digitalización en 3D permite una observación detallada de las características morfológicas clave desde varias perspectivas, superando las limitaciones de las muestras físicas estáticas.
2. **Elaboración de la clave dicotómica:** Se diseñó una clave dicotómica jerárquica, basada en las características morfológicas distintivas de los fósiles de la colección virtual. Cada paso de la clave presenta dos opciones, guiando al usuario a través de la identificación hasta llegar al nombre del fósil. Se utiliza un lenguaje claro y accesible, comenzando por características generales y progresando hacia detalles más específicos.
3. **Creación de fichas informativas complementarias:** Para cada fósil incluido en la colección y en la clave, hay una ficha informativa en Google Sites. Estas fichas proporcionan información adicional relevante, como el nombre científico y la época geológica. El objetivo de estas fichas es complementar la identificación realizada con la clave.

4. **Diseño de la secuencia didáctica:** Se ha planificado una secuencia de actividades progresiva, comenzando con la introducción a los conceptos básicos de la Paleontología y el uso de claves dicotómicas, seguida de la exploración de la colección virtual y la aplicación práctica de la clave.
5. **Definición de objetivos de aprendizaje y criterios de Evaluación:** Se establecieron los objetivos que se espera que el alumnado alcance al finalizar la propuesta, así como los criterios que se utilizarán para evaluar su progreso y adquisición de competencias.
6. **Consideración de la diversidad del alumnado:** Se han incorporaron medidas para atender a las diferentes necesidades y ritmos de aprendizaje, ofreciendo flexibilidad en las actividades y recursos complementarios.

6.4.1.2 Aplicación de la Propuesta

Aunque la propuesta no se haya llevado a la práctica con el alumnado real, su aplicación planificaría teniendo en cuenta los siguientes apartados:

1. **Presentación de la propuesta:** En la primera sesión se introduciría a los alumnos de Geología la importancia de los fósiles y la utilidad de las claves dicotómicas en su identificación. También se mostrarían los recursos digitales empleados (Sketchfab y Google Sites), explicando cómo navegar por la colección virtual y cómo utilizar la clave dicotómica.
2. **Exploración y familiarización:** Se dedicaría tiempo para que los estudiantes exploren la colección virtual en Sketchfab, se familiaricen con la visualización de los modelos 3D y comprendan el contenido de las fichas técnicas de Google Sites.
3. **Práctica guiada con la clave dicotómica:** El docente guiaría a los alumnos en la identificación de algunos fósiles utilizando la clave dicotómica, resolviendo dudas y modelando el proceso de razonamiento.
4. **Trabajo autónomo y en grupo:** Los estudiantes trabajarían de forma individual o en pequeños grupos (máximo de tres personas) para identificar los fósiles.

5. **Puestas en común y debates:** Se propondrían sesiones de puesta en común para que los alumnos puedan compartir sus identificaciones, expliquen el proceso que siguieron y discutan posibles dificultades o interpretaciones.
6. **Evaluación continua:** La evaluación se realizaría de forma continua a través de la observación del trabajo en el aula y la participación en los debates.

6.4.2 Secuencia didáctica y temporalización

Esta propuesta didáctica se estructura en una secuencia de sesiones diseñadas para guiar de forma progresiva al alumnado en el uso autónomo y crítico de la clave dicotómica, así como en la exploración y análisis de la colección virtual de fósiles.

A través de estas sesiones, se pretende no solo introducir herramientas digitales innovadoras, sino también fomentar habilidades de observación, comparación y razonamiento científico.

La temporalización propuesta contempla actividades tanto dirigidas como autónomas, integrando el trabajo individual y colaborativo para favorecer distintos estilos de aprendizaje.

No obstante, esta planificación puede adaptarse en función de las características concretas del grupo, su ritmo de aprendizaje y el contexto educativo, permitiendo al docente flexibilizar la duración o profundidad de cada fase según se requiera.

Tabla 2. Secuencia didáctica y temporalización de la propuesta para la enseñanza de fósiles mediante recursos digitales y clave dicotómica.

Sesión	Duración	Actividades	Objetivos
1. Introducción a la Paleontología y a las claves dicotómicas	50 min	Inicio (10 min): Repaso sobre fósiles e importancia histórica. Teoría (20 min): Qué es la Paleontología y cómo funciona una clave dicotómica. Recursos digitales (15 min): Uso de Sketchfab y fichas en Google Sites. Cierre (5 min): Tarea de explorar la colección virtual.	Comprender qué es una clave dicotómica y cómo usar recursos digitales para observar fósiles.
2. Exploración virtual y práctica inicial	50 min	Revisión (5 min): Dudas sobre la exploración inicial. Práctica guiada (30 min): Identificación conjunta de fósiles usando la clave. Práctica individual o en grupos (10 min): Aplicación autónoma. Puesta en común (5 min): Comparación de resultados.	Aplicar la clave dicotómica en casos reales usando modelos 3D.
3. Aplicación sistemática y verificación con fichas	50 min	Recordatorio (5 min): Revisión rápida del uso de la clave. Trabajo autónomo (35 min): Identificación con clave + verificación con fichas. Debate (10 min): Resolución de dudas y discusión de casos.	Fortalecer la autonomía en el uso de la clave y comparar resultados con información complementaria.
4. Análisis y significado de los fósiles	50 min	Discusión inicial (15 min): Relación fósil–ambiente–modo de vida. Análisis en grupo (25 min): Interpretación del ambiente de fósiles identificados. Conclusión (10 min): Presentaciones y reflexión.	Interpretar el valor ecológico e histórico de los fósiles identificados.

6.4.3 Objetivos didácticos y aprendizajes esperados

Esta propuesta didáctica tiene como objetivo general facilitar la comprensión y la identificación de la diversidad fósil a través del uso de una clave dicotómica y una colección virtual. Al finalizar la implementación de esta secuencia de actividades, se espera que el alumnado alcance los siguientes objetivos didácticos y haya desarrollado los aprendizajes esperados que se detallan a continuación:

6.4.3.1 Objetivos Didácticos:

- **Comprender la utilidad de las claves dicotómicas** como herramienta para la clasificación e identificación en Paleontología.
- **Conocer los principios básicos de la clasificación paleontológica**, incluyendo la distinción entre los principales grupos de fósiles (invertebrados, vertebrados, plantas, microfósiles, icnofósiles etc.).
- **Desarrollar habilidades de observación detallada** de las características morfológicas de los fósiles a partir de modelos tridimensionales virtuales.
- **Aplicar de manera efectiva la clave dicotómica** diseñada para la colección virtual con el fin de identificar los diferentes tipos de fósiles presentes.
- **Utilizar las fichas informativas complementarias** como recurso para verificar las identificaciones y ampliar el conocimiento sobre cada fósil.
- **Relacionar la morfología de los fósiles con su posible modo de vida** y el ambiente en el que vivieron, utilizando la información proporcionada.
- **Valorar la importancia de los fósiles** como fuentes de información para la reconstrucción de la historia de la vida y los cambios geológicos en la Tierra.
- **Fomentar el interés y la motivación por la Paleontología** y la Geología histórica a través de la interacción con recursos digitales innovadores.

6.4.3.2 Aprendizajes Esperados:

Al completar esta propuesta didáctica, se espera que el alumnado sea capaz de:

- **Identificar correctamente** los principales grupos de fósiles presentes en la colección virtual utilizando la clave dicotómica para describir con las características morfológicas que permiten distinguir los diferentes tipos de fósiles estudiados.
- **Explicar el proceso de utilización de una clave dicotómica** y justificar las decisiones tomadas en cada paso para llegar a la identificación.
- **Manejar con destreza la colección virtual en Sketchfab** para la observación detallada de los modelos 3D de fósiles.
- **Interpretar la información contenida en las fichas informativas de Google Sites** para complementar la identificación y obtener datos relevantes sobre la cronología de los fósiles.
- **Establecer relaciones entre la morfología de un fósil y su posible función biológica** y el entorno en el que se desarrolló.
- **Reconocer la importancia de los fósiles como evidencia del pasado de la Tierra** y de la evolución de los seres vivos.
- **Mostrar una actitud crítica y reflexiva** ante la información paleontológica, diferenciando entre observación e interpretación.
- **Comunicar de manera clara y precisa**, tanto oralmente como por escrito, los resultados de sus identificaciones y los análisis realizados.
- **Trabajar de forma colaborativa y respetuosa** en las actividades grupales, compartiendo conocimientos y estrategias.

Estos objetivos y aprendizajes esperados buscan no solo la adquisición de conocimientos específicos sobre Paleontología, sino también el desarrollo de competencias importantes para el aprendizaje, como la observación, el análisis, el razonamiento lógico y el uso de herramientas digitales.

6.4.4 Metodologías de enseñanza-aprendizaje

La propuesta didáctica se fundamenta en metodologías centradas en el alumnado con el objetivo de promover una comprensión significativa de los contenidos paleontológicos y el desarrollo de competencias clave a través de la interacción con recursos digitales innovadores. Se apuesta por un enfoque donde el alumno es protagonista de su propio aprendizaje, fomentando su pensamiento crítico. Las metodologías utilizadas incluyen:

Aprendizaje basado en la indagación (ABI): La propuesta parte de preguntas y desafíos relacionados con la identificación de fósiles, estimulando la curiosidad científica del alumnado. A través del uso de la clave dicotómica, los estudiantes desarrollan habilidades de observación, análisis y toma de decisiones, construyendo el conocimiento mediante la exploración activa de los modelos virtuales.

Trabajo cooperativo: Las actividades en pequeños grupos promueven la interacción social como vía para el aprendizaje. El alumnado comparte observaciones, argumenta sus decisiones y construye conocimiento de manera colectiva. Este enfoque fortalece la comunicación efectiva y el respeto por la diversidad de ideas.

Aprendizaje autónomo: Se fomenta la autonomía del alumno mediante tareas de exploración de la colección virtual y la resolución individual o grupal de problemas de identificación. La autonomía se refuerza con el uso de recursos digitales accesibles (clave dicotómica y fichas en Google Sites), que permiten al alumnado gestionar su propio proceso de aprendizaje.

Uso didáctico de las tecnologías digitales: La integración de herramientas como Sketchfab y Google Sites permite enriquecer la experiencia de aprendizaje y desarrollar competencias digitales.

Evaluación formativa y continua: A lo largo de la secuencia didáctica se plantean momentos de reflexión colectiva de identificaciones, resolución de dudas y puestas en común, permitiendo al profesorado detectar dificultades y adaptar la enseñanza a las necesidades del grupo. La evaluación se concibe como una herramienta de mejora del aprendizaje, más que como una mera calificación.

6.4.5 Relación entre contenidos, competencias y criterios de evaluación

La propuesta didáctica se ajusta al currículo vigente y favorece el desarrollo de competencias clave y específicas en Geología para Bachillerato.

Tabla 3. Contribución de la propuesta didáctica al desarrollo de las competencias clave en Bachillerato.

Competencia Clave	Contribución de la materia en relación con la propuesta didáctica
Competencia en comunicación lingüística	Buscar, identificar, interpretar y transmitir información geológica y ambiental con otras personas de manera ética en diferentes contextos sociales y culturales elaborando descripciones para la clave dicotómica con un lenguaje científico.
Competencia plurilingüe	Búsqueda y comprensión de información científica relacionada con fósiles y claves dicotómicas en diferentes idiomas (principalmente el inglés), ampliando destrezas y conocimientos de estas lenguas.
Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería	Aplicación del método científico para el diseño de la clave dicotómica, favoreciendo la conexión entre razonamiento científico y el conocimiento geológico.
Competencia digital	Uso de nuevas tecnologías para transmitir información relevante como por ejemplo programas informáticos innovadores que capten la atención y faciliten el aprendizaje de la clave dicotómica.
Competencia personal, social y aprender a aprender	Desarrollo del trabajo colaborativo, empatía entre alumnos y profesor, planificación de objetivos y aprendizaje autónomo en el ámbito geológico principalmente.
Competencia ciudadana	Fomento del respeto a los diferentes tipos de opiniones y resolución de conflictos en el trabajo en grupo.
Competencia emprendedora	Diseñar y desarrollar una herramienta como una clave dicotómica virtual implica creatividad, innovación, y la capacidad de generar un recurso útil para la comunidad educativa.
Competencia en conciencia y expresión culturales	Valoración y respeto del entorno natural gracias al reconocimiento de la diversidad geológica y paleontológica de diferentes épocas y regiones. Dando importancia a su protección y el consumo responsable de los recursos como compromiso con el bien social común.

Tabla 4. Contribución de la propuesta didáctica al desarrollo de las competencias específicas de la materia.

Competencia Específica	Contribución de la materia en relación con la propuesta didáctica.
1. Interpretar y transmitir información científica usando terminología adecuada.	El desarrollo de la clave dicotómica requerirá que los alumnos interpreten características fósiles tanto morfológicas como estructurales para que las interprete y comunique de forma precisa.
2. Localizar, seleccionar y organizar información fiable de forma crítica.	Aumento de la capacidad de investigar fuentes científicas fiables para identificar información válida y así documentar correctamente las características de los fósiles.
3. Analizar críticamente trabajos de investigación o divulgación.	Análisis de la calidad científica a través del método científico para desarrollar un razonamiento lógico junto con una valoración de la contribución de la ciencia a la sociedad. Para ello, el alumno evalúa otras claves dicotómicas preexistentes entendiendo y valorando los métodos empleados.
4. Plantear y resolver problemas geológicos y ambientales.	Durante el desarrollo de la clave, el alumno resolverá problemas como la identificación correcta de fósiles poco conservados, adaptando el diseño de la clave para mejorar su usabilidad.
5. Analizar impactos medioambientales para fomentar la sostenibilidad.	A través de la colección virtual y el estudio de los fósiles, se puede incluir reflexiones sobre los cambios ambientales (variaciones climáticas y extinciones) que han afectado a la biodiversidad.
6. Identificar y analizar elementos geológicos del relieve.	Los fósiles que pertenezcan a la clave dicotómica permitirán establecer una relación entre ellos mismos y los ambientes sedimentarios donde se formaron para interpretar los fósiles guía y poder conocer la historia geológica de una determinada región.

Para la evaluación de esta actividad tendríamos en cuenta los criterios de evaluación establecidos en el currículo de Bachillerato:

Tabla 5. Criterios de evaluación contemplados en la propuesta didáctica.

Criterio de Evaluación	Propuesta Didáctica
1.1. Utilizar el pensamiento científico para entender y analizar críticamente conceptos y procesos...	Uso de la clave dicotómica para identificar fósiles; análisis de modelos 3D y fichas técnicas mediante razonamiento inductivo y deductivo.
1.2. Comunicar informaciones u opiniones razonadas relacionadas con los contenidos de la materia...	Presentación oral y escrita en actividades grupales, uso del vocabulario científico, mapas fósiles y fichas digitales.
1.3. Realizar discusiones científicas sobre aspectos relacionados con los contenidos de la materia...	Debates en grupo sobre la clasificación de fósiles y su interpretación paleoambiental, fomento del respeto y la argumentación crítica.
2.1. Plantear y resolver cuestiones y crear contenidos... con pensamiento científico, sentido crítico y ético...	Búsqueda autónoma de información sobre fósiles, creación de informes grupales y presentaciones con fuentes citadas.
2.2. Contrastar y justificar la veracidad de la información... para consolidar un juicio propio...	Discusión sobre la veracidad de la información obtenida; diferenciación entre información científica y pseudocientífica.
3.1. Evaluar la fiabilidad de las conclusiones de un trabajo de investigación...	Evaluación de las propias hipótesis sobre la clasificación de fósiles y reformulación si es necesario.
3.2. Identificar las publicaciones científicas dignas de confianza...	Uso guiado de Google Sites y plataformas como Sketchfab para la consulta de fuentes fiables.
3.3. Utilizar el pensamiento científico para interpretar, transmitir y argumentar los elementos más relevantes de la contribución de la ciencia a la sociedad...	Reflexión sobre la labor paleontológica, el papel de la mujer en la ciencia y la importancia de la colaboración científica.
4.1. Explicar fenómenos... transmitiendo los elementos más relevantes de forma clara y precisa...	Presentación de resultados de forma visual (esquemas, gráficos, fichas), integración de herramientas TIC.

4.2. Analizar críticamente la solución a un problema... reformulando procedimientos...	Ajuste de las identificaciones de fósiles a partir de la comparación grupal y el análisis posterior.
5.1. Promover y adoptar hábitos sostenibles... realizando un análisis crítico de la huella ecológica...	Debate sobre la relación entre fósiles y el impacto de la actividad humana en la biodiversidad y geodiversidad.
5.2. Relacionar el impacto de la explotación de determinados recursos con el deterioro medioambiental...	Análisis del contexto ambiental de los fósiles y su conexión con prácticas sostenibles.
5.3. Elaborar un plan de mejora en el uso responsable de los recursos...	Trabajo grupal con propuestas de actuación ante problemáticas ambientales simuladas basadas en fósiles.
6.1. Deducir y explicar la historia geológica de un área determinada...	Interpretación de la historia de un ecosistema antiguo a través del análisis de fósiles.
6.3. Conocer los aspectos más relevantes de la Geología histórica...	Contextualización de los fósiles en la historia geológica de la Península Ibérica.
6.4. Comprender la historia geológica y evolución biológica a través de la interpretación y elaboración de cortes geológicos.	Elaboración de cortes e hipótesis evolutivas a partir del análisis fósil guiado.

6.4.6 Estrategias de evaluación

La evaluación de esta propuesta didáctica se plantea desde un enfoque competencial y formativo, basándose en los principios metodológicos establecidos por la LOMLOE. A través de la observación directa, la autoevaluación, la coevaluación y el análisis de productos generados por el alumnado, se valorará la adquisición de conocimientos paleontológicos y el desarrollo de habilidades de análisis, pensamiento crítico, uso de recursos digitales y trabajo colaborativo.

La rúbrica propuesta permite una evaluación objetiva, transparente y ajustada a los criterios de evaluación, facilitando el seguimiento individual y grupal, así como la toma de decisiones para la mejora continua del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Tabla 6. Rúbrica de evaluación para la aplicación de la propuesta didáctica.

Indicadores	Excelente (4)	Notable (3)	Suficiente (2)	Insuficiente (1)
Uso de la clave dicotómica	Identifica todos los fósiles con precisión, justificando cada paso de forma lógica y detallada.	Identifica la mayoría de los fósiles y justifica adecuadamente sus decisiones.	Identifica algunos fósiles, pero con errores o justificaciones poco claras.	No logra realizar identificaciones correctas o no justifica sus decisiones.
Observación de modelos 3D (Sketchfab)	Realiza observaciones precisas, describiendo rasgos morfológicos relevantes con vocabulario técnico.	Observa correctamente e identifica rasgos básicos de forma adecuada.	Presenta observaciones superficiales, con escaso detalle.	No analiza correctamente los modelos o no utiliza el recurso.
Consulta y uso de fichas informativas (Google Sites)	Usa las fichas para verificar hipótesis, ampliar información y realizar análisis críticos.	Utiliza adecuadamente las fichas como apoyo en sus identificaciones.	Consulta las fichas, pero sin integrar bien la información.	No utiliza las fichas o lo hace de forma incorrecta.
Relación morfología–ambiente de vida	Establece relaciones bien fundamentadas entre forma, función y ambiente paleoecológico.	Relaciona adecuadamente los elementos clave con el entorno de vida.	Hace relaciones parciales o con argumentación débil.	No logra establecer conexiones entre forma y ambiente.
Trabajo en equipo y actitud científica	Participa activamente, colabora y contribuye con ideas fundamentadas y actitud crítica.	Colabora en las tareas y mantiene buena disposición.	Participa de forma pasiva o con escasa implicación.	No coopera o muestra actitud negativa hacia el trabajo grupal.
Comunicación de resultados	Expone con claridad, rigor y lenguaje científico preciso tanto oralmente como por escrito.	Comunica con claridad general y estructura lógica.	Expresa sus ideas de forma confusa o con uso limitado del vocabulario científico.	No comunica adecuadamente sus resultados o presenta errores graves.

6.4.7 Medidas de atención a la diversidad

La atención a la diversidad en esta propuesta didáctica se plantea desde un enfoque inclusivo, equitativo y flexible, orientado a garantizar el aprendizaje de todo el alumnado, respetando los distintos ritmos, estilos y necesidades educativas. Para ello, se implementan una serie de medidas que permiten adaptar los contenidos, metodologías y formas de evaluación a la realidad del grupo.

En primer lugar, se ofrecen materiales de apoyo visual y manipulativo como fichas adaptadas, claves dicotómicas simplificadas y recursos interactivos (como Google Sites y Sketchfab), que favorecen la comprensión del alumnado con dificultades en el procesamiento del lenguaje o con barreras sensoriales. Las explicaciones se acompañan siempre de imágenes y ejemplos concretos que contextualizan el aprendizaje.

Además, se promueve el trabajo cooperativo con grupos heterogéneos, favoreciendo el apoyo mutuo, el desarrollo de competencias sociales y la participación activa mediante la asignación de roles adaptados a cada perfil.

También se contempla la posibilidad de realizar adaptaciones metodológicas y temporales para el alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo, ya sea ampliando el tiempo para la realización de tareas, reduciendo la carga cognitiva o permitiendo el uso de medios tecnológicos de apoyo (lectores de pantalla, subtítulos, audios, etc.).

Estas medidas pretenden favorecer una educación que atienda a la diversidad asegurando que todos los estudiantes puedan desarrollar sus competencias específicas y alcanzar los objetivos propuestos.

6.4.8 Limitaciones a la propuesta didáctica

Aunque la creación de una clave dicotómica a partir de una colección virtual de fósiles con fichas técnicas en Google Sites ofrece un enfoque interactivo y accesible, presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, la ausencia de manipulación física impide una observación tridimensional completa de los fósiles. Además, la propuesta depende del acceso a dispositivos electrónicos y conexión a internet, lo que puede generar desigualdades. Por último, la colección virtual puede no reflejar toda la diversidad fósil real, limitando la profundidad del ejercicio.

7 CONCLUSIONES

En el ámbito de las ciencias, la implementación de tecnologías interactivas se ha consolidado como una estrategia fundamental para superar limitaciones espaciales, económicas y logísticas, facilitando el acceso a experiencias educativas virtuales con un alto valor formativo. La integración de claves dicotómicas digitales y colecciones virtuales en estos entornos es un claro ejemplo de este enfoque, donde el estudiante interactúa directamente con los contenidos y construye conocimiento a través de la exploración guiada.

Las claves dicotómicas son instrumentos didácticos esenciales que permiten la identificación de organismos mediante una serie de decisiones binarias. En el contexto educativo, su uso contribuye al desarrollo de habilidades de observación, razonamiento lógico y clasificación taxonómica. La digitalización de estas claves ha demostrado mejorar significativamente el aprendizaje y la retención en diversas áreas de la enseñanza, como se ha evidenciado en la botánica (Andić et al., 2019).

La paleontología, por su inherente carácter interdisciplinar, ofrece una oportunidad única para conectar conocimientos de geología, biología, química y evolución. Sin embargo, su enseñanza presencial se ve a menudo limitada por la escasez de recursos materiales y la necesidad de una formación específica del profesorado. Ante estas barreras, las colecciones digitales representan una alternativa viable, económica y pedagógicamente sólida.

La motivación es crucial para un aprendizaje efectivo, especialmente en ciencias prácticas. Para comprender y potenciar esa motivación, se emplea el Modelo ARCS que se basa en cuatro pilares: Atención, Relevancia, Confianza y Satisfacción (Keller, 1987). Aplicando este marco a la enseñanza de la paleontología, se usan modelos 3D interactivos para captar la atención y permitir la exploración de fósiles. La confianza se fomenta con el progreso y la retroalimentación positiva, y la satisfacción surge del éxito en la identificación de fósiles y el intercambio de hallazgos.

Esta propuesta no solo enseña paleontología; es una semilla para el futuro del aprendizaje. Al combinar tecnología y didáctica, inspira a los estudiantes a ser exploradores autónomos y entusiastas de la ciencia, forjando las mentes del mañana.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Andić, B., Cvijetićanin, S., Maričić, M., & Stešević, D. (2019). The contribution of dichotomous keys to the quality of biological-botanical knowledge of eighth grade students. *Journal of Biological Education*, 53(3), 310-326.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1469540>
- Barroso-Solares, S., Alonso-Gómez, V., Torre, J., Hurtado-García, V., Quilez Molina, A., & Pinto, J. (2024). *Development of New Educational Resources in Geology and Crystallography Based on 3D Printing*. University of Valladolid (Spain).
- Díaz-Martínez, E., García Cortés, A., & Carcavilla Urquí, L. (2013). *Los fósiles son elementos geológicos y el patrimonio paleontológico es un tipo de patrimonio natural—Fossils are geologic elements and paleontological heritage is a type of natural heritage*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4825.2484>
- Junta de Castilla y León. (2022, septiembre 30). *Decreto 34/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Primaria en la Comunidad de Castilla y León*.
<https://bocyl.jcyl.es/boletines/2022/09/30/pdf/BOCYL-D-30092022-4.pdf>
- Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2-10.
<https://doi.org/10.1007/BF02905780>
- Ortiz, J. E., Sánchez-Palencia, Y., & Torres, T. (2018). Innovación educativa en la enseñanza de la geología mediante nuevas tecnologías = Educational innovation in the teaching of Geology using new technologies. *Advances in Building Education*, 2(1), 97. <https://doi.org/10.20868/abe.2018.1.3696>

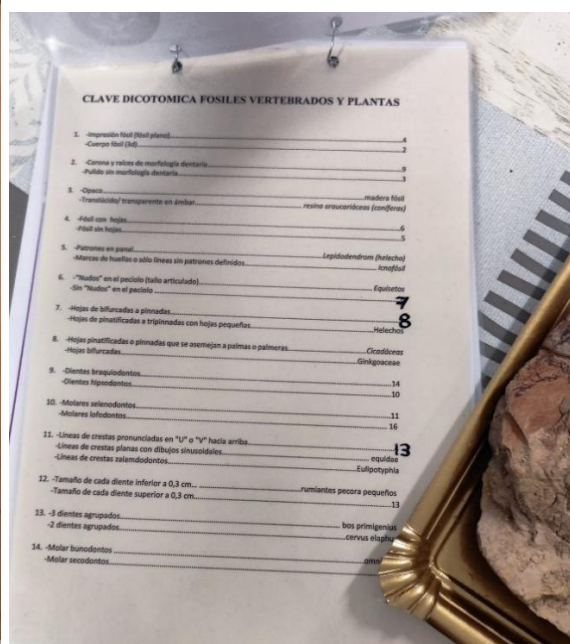
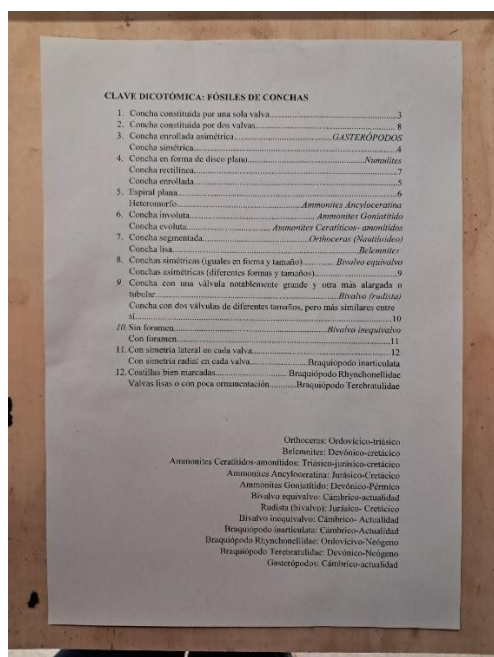
- Puig, B., Blanco Anaya, P., & Gil Quílez, M. J. (Eds.). (2020). *Biology Education Research. Contemporary topics and directions*. Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza. <https://doi.org/10.26754/uz.978-84-16723-97-3>
- Scherer, R., Siddiq, F., & Tondeur, J. (2019). The technology acceptance model (TAM): A meta-analytic structural equation modeling approach to explaining teachers' adoption of digital technology in education. *Computers & Education*, 128, 13-35. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.009>
- Sinh, N. V., Wiemers, M., & Settele, J. (2017). Proposal for an index to evaluate dichotomous keys. *ZooKeys*, 685, 83-89. <https://doi.org/10.3897/zookeys.685.13625>
- Suárez, P., & Gnaedinger, S. C. (2024). Claves dicotómicas: Adaptaciones para su uso en las clases de geología. *FACENA*, 33(1), 43-57. <https://doi.org/10.30972/fac.3317368>
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (s.f.). *Fósiles*. <https://www.uacj.mx/ICB/UEB/documentos/5.%20FOSILES.pdf>

9 ANEXOS

- ❖ ANEXO I: Ejemplares de la colección de fósiles del IES Andrés Laguna, Segovia
([Volver al texto](#)).



- ❖ ANEXO II: Página web y claves dicotómicas otorgadas por la asociación “Educa en verde” ([Volver al texto](#)).



<https://segoviaeducaenverde.com/>

❖ ANEXO III: Lista con fósiles otorgada por el IES Andrés Laguna. ([Volver al texto](#)).

Paleozoico

Ambiente marino

Filo	Taxón	Rango	Datos	Imagen
Poríferos (esponjas)	Arqueociatos	Cámbrico	Esponjas ya extintas	
Artrópodos	Trilobites	Cámbrico a Pérmico	Muy abundantes	
Inofitoides	Cruziana y otros	Cámbrico a Pérmico pero sobre todo se usan para el Cámbrico	Baptismo de trilobites	
Hemicordados	Graptolites	Ordovícico a Devónico	Ya extintos, esqueletos de quitina	
Braquiópodos	Spirifer	Devónico	Filo importante en el Paleozoico	
Cefalópodos	Orthoceras	Ordovícico a Pérmico	Concha recta	
	Goniatites	Carbonífero	Concha enrollada	
Cnidaria (Corales Rugosos y Tabulados)	Corales rugosos	Ordovícico a Pérmico	Corales con septos	
	Corales tabulados Favosites	Silúrico y Devónico	Muy abundantes; corallitas pequeñas y sin septos	
Peces cartilaginosos	Conodontes	Ordovícico-Pérmico	Micrófósil; partes del aparato bucal	
Foraminíferos	Fusulinas	Carbonífero a Pérmico	Micrófósiles organismos unicelulares	

Total = 11

Nota: en fotografías de fósiles guía están teñidos. Calymene acanthodes para 1/ no es conocido, 2/ es un fósil de fósiles, no guía y 3/ no aparece en el texto porque tiene "lagos". Así que lo he sustituido por otro mucho más habitual y representativo.

Ambiente continental (todos vegetales)

Filo / grupo	Paragénero	Rango	Datos	Imagen
Equisetos	Annularia	Carbonífero a Pérmico	Tallos de equisetos con hojas	
Equisetos	Calamites	Carbonífero a Pérmico	Relevo del tallo de un equisetido	
Licopodios	Stigmario	Carbonífero a Pérmico	Raíz de un licopodio	

Mesozoico

Ambiente marino

Filo	Taxón	Rango	Datos	Imagen
Braquiópodos	Pyræpe	Jurásico-Cretácico	Ejemplares adultos con una perforación central que atraviesa la concha	
	Synchonetia	Jurásico	Se confunde con muchos otros géneros de aspecto similar	
Gasterópodos	Succinea	Cretácico	Típico gasterópodo con moluscos siguiendo las vueltas	
Bivalutas (Bivalves)	Hippurites y Rudolites	Cretácico	Solo cretácicos, abundantes y bien reconocibles	
Bivalves (no rudistas)	Langia	Jurásico y Cretácico	Otras curvadas, se confunden con Gryphus cuyo rango es mayor	
	Trigonia	Jurásico y Cretácico	Fácilmente reconocible	
Cefalópodos	Ammonites	Todo el Mesozoico	Muchos géneros importantes. No reconocibles exteriormente	
	Belemnites	Jurásico y Cretácico	En los "ballenas", partes del esqueleto interno. Varios géneros	
Cnidaria (corales escleractinos)	Pleromella	Cretácico	Como con septos algo aplastado	
	Cyclolites	Cretácico	Es un subgénero de Cyclaster, que no está extinto	
	Micraster	Cretácico a Eoceno	Típico erizo acorazado (sin espinas, con pedúnculos, inflexión). Muy abundante.	
Equinodermos	Heteraster	Cretácico	Erizo acorazado más aplastado y alargado que Micraster	
Foraminíferos	Orbulina	Jurásico	Micrófósil con forma sombrero chino. Concha formada por granos aglutinados	

Total = 13

Ambiente continental

Filo / grupo	Taxón	Rango	Datos	Imagen
Dinosaurios	Huellas y fósiles corporales	Mesozoico	Diferentes formas de huellas indican distintos tipos de dinosaurios	

Total = 1

Total Mesozoico = 14

Cenozoico

Ambiente marino

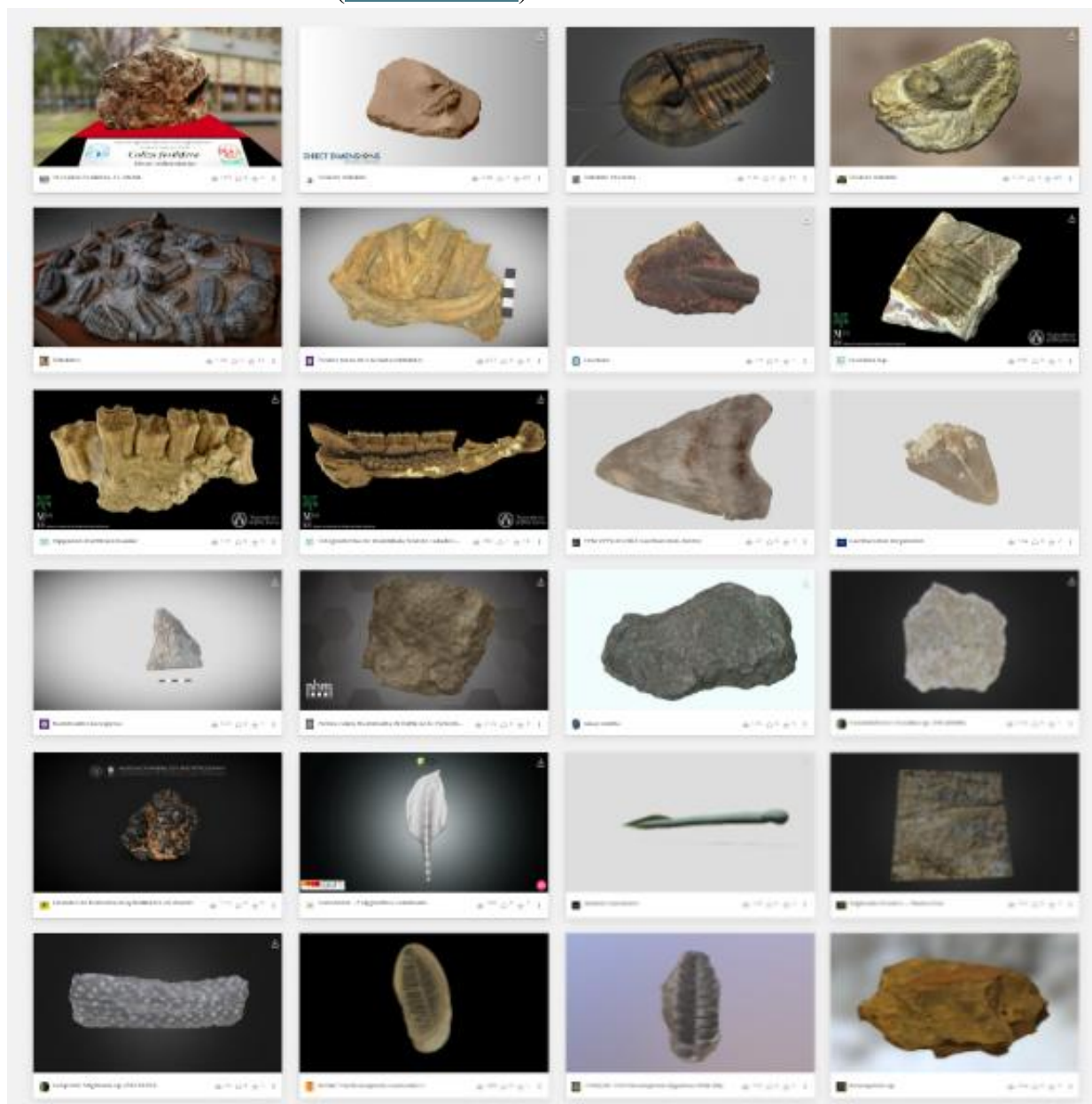
Filo	Taxón	Rango	Datos	Imagen
Braquiópodos	<i>Terebratula</i>	Eoceno-Plioceno	Pero hay géneros similares anteriores y hasta la actualidad	
Equinodermos	<i>Clypeaster</i>	Mioceno-Actualidad	Grande y con las interáreas anchas. También es un erizo infanal (sin radiolas)	
	<i>Turritella</i>	Cretácico-Actualidad Pero muy frecuente en el Cenozoico	Fácilmente reconocible por su aspecto de torrecilla. Decenas de especies	
Foraminíferos	Nummulites	Paleógeno	Moneditas, suelen aparecer muchas juntas	
Vertebrados	<i>Carcharodon</i>	Neógeno-Actualidad	Dientes de este tiburón	

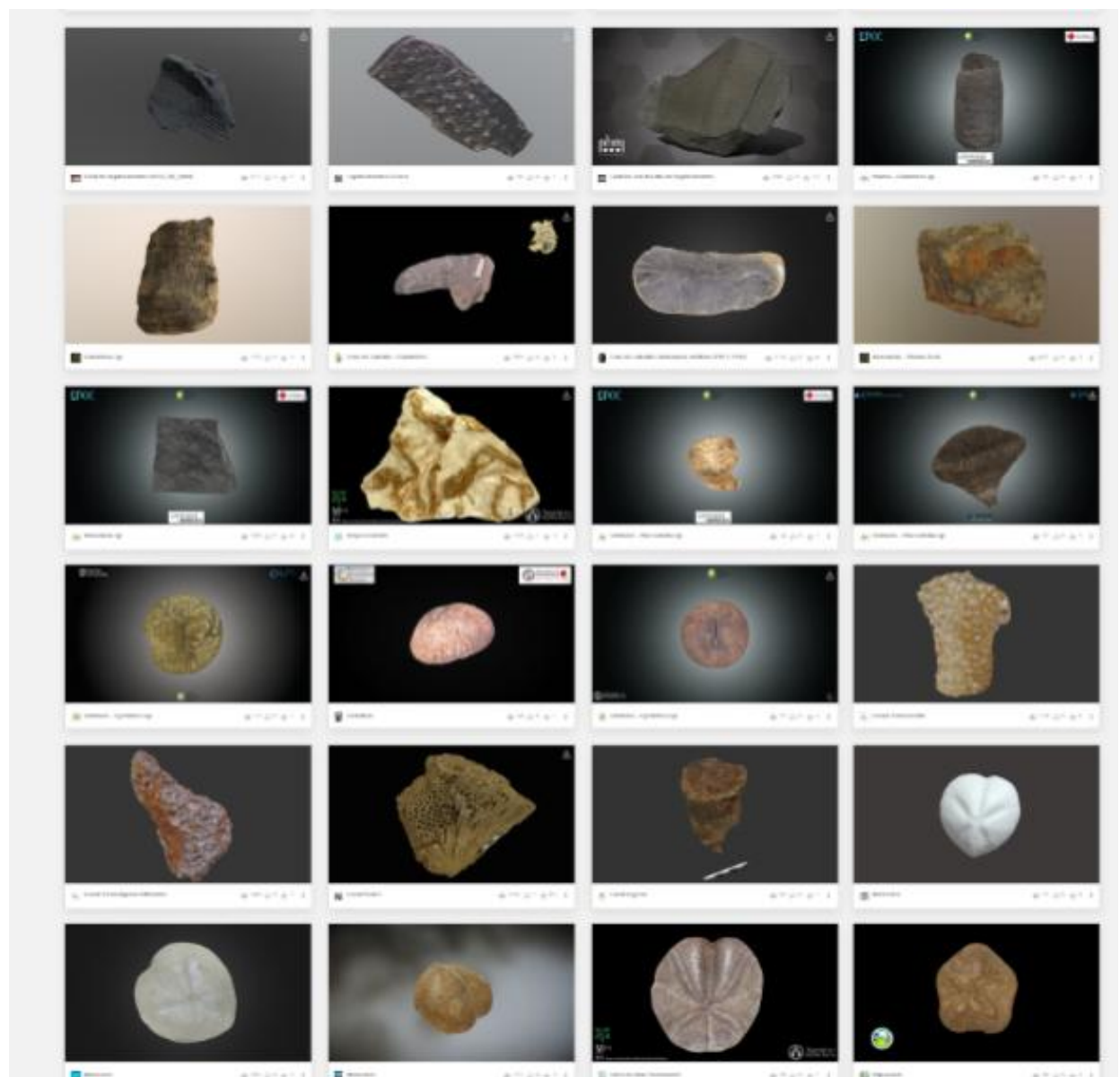
Total = 5

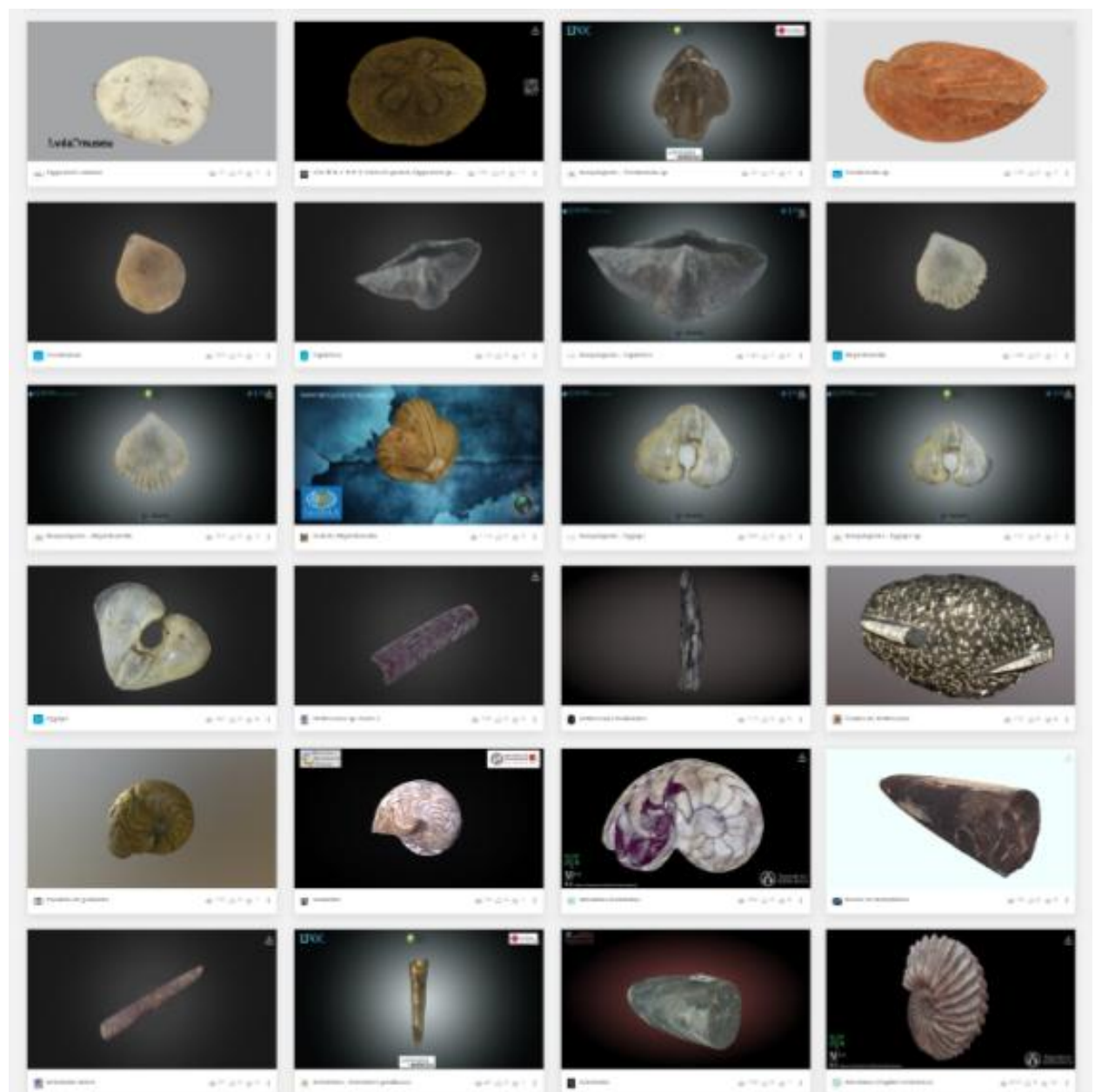
Ambiente continental

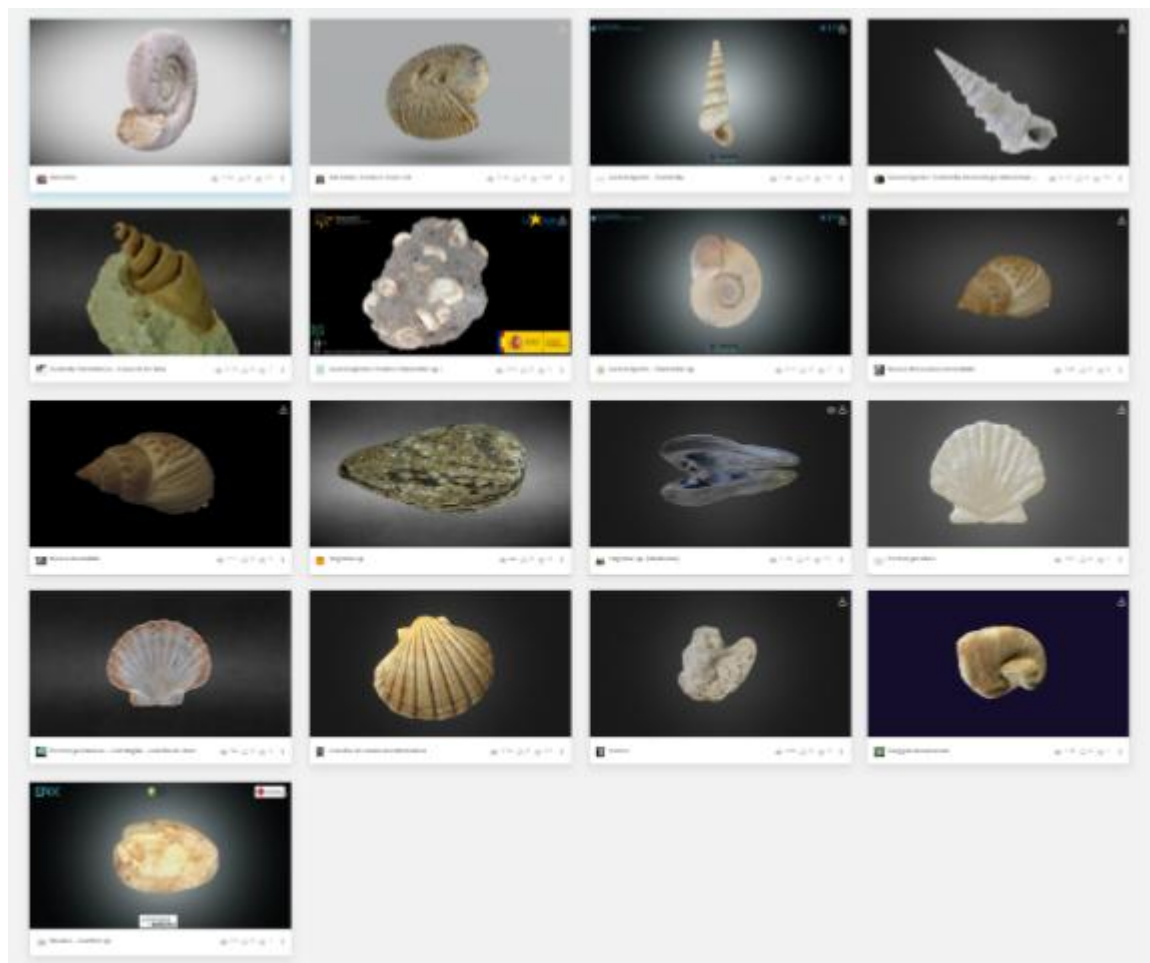
Filo / grupo	Taxón	Rango	Datos	Imagen
Vegetales	<i>Quercus</i>	Paleógeno-Actualidad	Robles, encinas...	
Gasterópodos	<i>Planorbis</i>	Mioceno-Actualidad	Típico gasterópodo plano, habitante de lagunas	
Mamíferos	<i>Hipparion</i>	Mioceno-Pleistoceno	Antepasado del caballo	
Mamíferos	<i>Deinotherion</i>	Mioceno-Pleistoceno	Relacionado con los elefantes	

- ❖ ANEXO IV: Colección virtual de fósiles creada en la Plataforma Sketchfab para utilizar la clave dicotómica ([Volver al texto](#)).

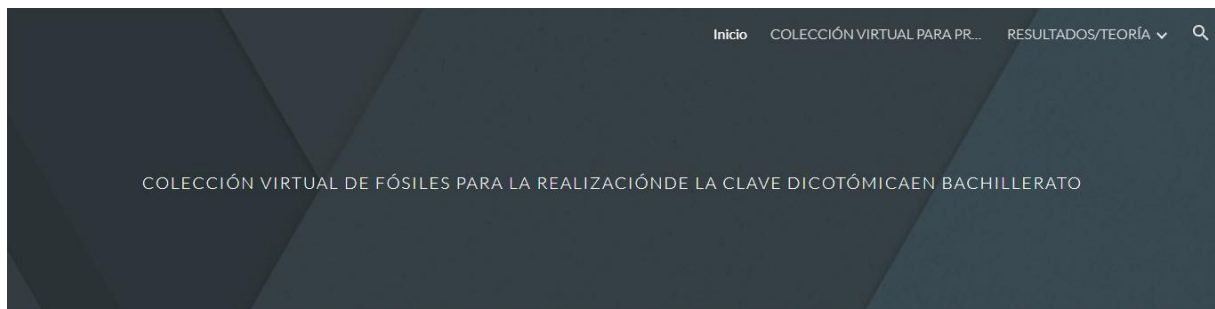








- ❖ ANEXO V: Fichas técnicas Google sites de cada grupo de fósiles para ayuda al estudio en la clave dicotómica ([Volver al texto](#)).



La información sobre los fósiles fue obtenida principalmente de Wikipedia (<https://www.wikipedia.org>) en junio de 2025.

Inicio COLECCIÓN VIRTUAL PMAA PL... RESULTADOS/TEORÍA

BIVALVOS Y GASTERÓPODOS



Exogyra sp.

Morfología:
Era un molusco con dos conchas (bivalvo), de forma ovalada o algo rectangular. Tenía costillas en la superficie y bordes ondulados. La parte donde se unían las conchas (chamela) tenía dientes para encajar.

Paleobiología:
Vivió en el mar durante el **Cretácico**.
Vivió enterrado en la arena o pegado a rocas.
Se alimentaba filtrando el agua.
Algunos especímenes cubrían sus ojos dentro del caparazón.



Ostrea Sp.

Morfología:
Molusco bivalvo con conchas desiguales: una fija al sustrato (más grande y rugosa) y otra más plana. La concha tiene forma irregular y suele tener estrías o pliegues.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el Jurásico hasta hoy.
- **Hábitat:** Marino, vive pegado a rocas o sedimentos duros.
- **Alimentación:** Filtrador (se alimenta del plancton del agua).
- **Modo de vida:** Fijo al fondo marino, en zonas poco profundas.



Pecten jacobaeus

Morfología:
Molusco bivalvo con conchas en forma de abanico, casi simétricas, con costillas radiales marcadas. Tiene una **chamela redonda** con una **muñeca en el centro** y puede tener pequeñas orejas (prolongaciones) a los lados de la chamela.

Paleobiología:

- **Época:** Holoceno (actual), aunque hay fósiles desde el Mioceno.
- **Hábitat:** Marino, en fondos arenosos poco profundos.
- **Alimentación:** Filtrador (se alimenta del plancton).
- **Modo de vida:** Libre en el fondo marino, puede nadar a saltos cortos abriendo y cerrando sus valvas.



Planorbis sp.

Morfología:
Molusco **gasterópodo** con una concha en espiral **plana** (como un disco o espiral enrollada sobre un solo plano). Tiene varias **aperturas y regulares**, parecida a una rueda o espiral de rebó.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Jurásico** hasta la actualidad.
- **Hábitat:** **Agua dulce** (lagos, lagunas, ríos tranquilos).
- **Alimentación:** Detritívoro (se alimenta de restos orgánicos del fondo).
- **Modo de vida:** **Bentónico**, vive en el fondo de ambientes acuosos dulces, moviéndose lentamente.



Nassa sp.

Morfología:
Molusco **gasterópodo** con concha pequeña a mediana, generalmente en forma de **cono o espiral cónica**. La superficie puede tener **estrías, costillas o pequeñas protuberancias**, y la apertura de la concha suele ser ovalada con un labio exterior a veces engrosado o dentado.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Terciario** hasta hoy.
- **Hábitat:** Marino, suele vivir en fondos arenosos o fangosos, en zonas costeras.
- **Alimentación:** **Detritívoro** o **carnívoro** pequeño, se alimenta de restos orgánicos o pequeños organismos.
- **Modo de vida:** **Bentónico**, se desplaza sobre el fondo marino.

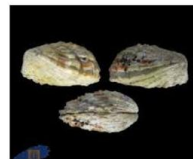


Trigonia sp.

Morfología:
Bivalvo con conchas gruesas, de forma ovalada o alargada. La superficie tiene **costillas radiales y nodos (bultitos)** que le dan un aspecto rugoso. La chamela es compleja, con **dientes fuertes en forma de zigzag**.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente en el **Mesozoico** (especialmente Jurásico y Cretácico).
- **Hábitat:** Marino, vivió **enterrado parcialmente** en fondos arenosos o fangosos.
- **Alimentación:** Filtrador (se alimentaba del plancton del agua).
- **Modo de vida:** **Infraunal** (vivía dentro del sedimento), probablemente poco móvil.



Cardita sp.

Morfología:
Molusco bivalvo de conchas **ovaladas a redondeadas**, gruesas y con costillas radiales prominentes. Los bordes de la concha suelen estar **dentados (crenulados)**. La chamela presenta varios **dientes pequeños**.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Paleozoico** hasta la actualidad (con fósiles comunes en el Terciario).
- **Hábitat:** Marino, en **fondos poco profundos**, arenosos o fangosos.
- **Alimentación:** Filtrador (filtra partículas del agua).
- **Modo de vida:** **Infraunal**, vivió **enterrado en el sedimento**, casi sin moverse.



Turitella sp.

Morfología:
Molusco **gasterópodo** con una concha **larga, alta y en espiral**, parecida a un tornillo o torre. La superficie suele tener **estrías o anillos finos** y muchas vueltas pequeñas y regulares.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Cretácico** hasta la actualidad.
- **Hábitat:** Marino, en **fondos fangosos o arenosos**.
- **Alimentación:** Filtrador o detritívoro (se alimentaba de partículas en suspensión o en el fondo).
- **Modo de vida:** **Bentónico**, vivió en el fondo del mar, muchas veces **semienterrado**.

CEFALÓPODOS



Ammonites

Morfología: Moluscos **cefalópodos** extintos con conchas en espiral muy visibles, generalmente planas (como un conchal pero enrollado en un solo plano). Las conchas tenían cámaras internas separadas por tabiques, y la última cámara era donde vivía el animal.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Devónico** hasta el **Creácico** (se extinguieron hace ~66 millones de años).
- **Hábitat:** Marino, nadadores libres en el agua.
- **Alimentación:** Carnívoros, probablemente cazaban pequeños organismos marinos.
- **Modo de vida:** **Nectónicos**, es decir, podían nadar activamente en el mar.



Belemnites

Morfología: Moluscos **cefalópodos** extintos con un cuerpo parecido al calamar moderno. Tienen un **esqueleto interno rígido** llamado **guarda** o **rostra**, que es la parte fósil más común. La guarda es alargada y cilíndrica, con forma de bala.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Jurásico** hasta el **Creácico** (se extinguieron hace ~66 millones de años).
- **Hábitat:** Marino, nadadores activos en el agua.
- **Alimentación:** Carnívoros, cazaban peces y otros pequeños animales marinos.
- **Modo de vida:** **Nectónicos**, nadaban libremente como los calamares actuales.



Goniatites

Goniatites

Morfología: Moluscos **cefalópodos** extintos con conchas en espiral, parecidas a los ammonites, pero con líneas de sutura más simples, en forma de ondas suaves o zigzag. La concha era generalmente plana y enrollada en un solo plano.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Devónico** hasta el **Pérmico** (hace aproximadamente 400 a 250 millones de años).
- **Hábitat:** Marino, nadadores libres en el agua.
- **Alimentación:** Carnívoros, cazaban pequeños animales marinos.
- **Modo de vida:** **Nectónicos**, podían nadar activamente en el mar.



Orthoceras

Morfología: Molusco **cefalópodo** extinto con concha **larga, recta y cilíndrica**, parecida a un tubo. La concha tiene cámaras internas separadas por tabiques, con un tubo central llamado **sifón**.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Devónico** hasta el **Pérmico** (hace aproximadamente 400 a 250 millones de años).
- **Hábitat:** Marino, nadadores activos.
- **Alimentación:** Carnívoros, cazaban pequeños animales marinos.
- **Modo de vida:** **Nectónicos**, podían nadar y moverse libremente en el agua.

BRAQUIÓPODOS



Pygope

Pygope

Morfología: Molusco **braquiópodo** con dos valvas (conchas) desiguales, de forma generalmente **redondeada u ovalada**. Muchas especies tienen una **abertura o perforación central** en la parte posterior, lo que le da un aspecto característico. La concha suele ser delgada, con líneas de crecimiento visibles.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Jurásico** hasta el **Creácico**.
- **Hábitat:** Marino, en **fondos blandos o rocosos**, en aguas poco profundas.
- **Alimentación:** **Filtrador**, se alimentaba de partículas en suspensión.
- **Modo de vida:** **Sésil** (fijo al fondo), probablemente anclado mediante un pedículo.



Rhynchonella

Morfología: Molusco **braquiópodo** con conchas (valvas) de forma **triangular**, generalmente con **costillas radiales marcadas**. Las valvas son desiguales y abombadas, y presentan un **borde en pico** muy característico (de ahí el nombre "rhynchonella" = pico). La apertura es pequeña, con un **agujero posterior para el pedículo**.

Paleobiología:

- **Época:** Muy comunes desde el **Devónico** hasta el **Creácico**.
- **Hábitat:** Marino, en **fondos rocosos o estables**.
- **Alimentación:** **Filtrador**, captaba partículas del agua.
- **Modo de vida:** **Sésil**, vivía fijo al fondo por medio de un pedículo.



Spirifer

Morfología: Braquiópodo con conchas (valvas) **anchas y alargadas**, con un **surco central profundo** y **costillas radiales marcadas**. Las valvas suelen tener una forma extendida a los lados (como alas). Su nombre se debe a su **estructura interna en espiral** (espirales que sostenían los órganos filtradores).

Paleobiología:

- **Época:** Muy común en el **Paleozoico**, especialmente en el **Devónico** y **Carbonífero**.
- **Hábitat:** Marino, en aguas poco profundas y fondos estables.
- **Alimentación:** **Filtrador**, captaba partículas del agua.
- **Modo de vida:** **Sésil**, vivía fijo al fondo mediante un pedículo.



Terebratulula

Morfología: Molusco **braquiópodo** con valvas (conchas) **llanas o ligeramente acanaladas**, en forma de **gota o almendra**. Tiene una **abertura redondeada en la parte posterior** por donde salía el **pedículo** (estructura que lo fijaba al sustrato). Las valvas son abombadas y desiguales.

Paleobiología:

- **Época:** Muy comunes desde el **Devónico** hasta el **Terciario**.
- **Hábitat:** Marino, vivía en **fondos rocosos o duros**.
- **Alimentación:** **Filtrador**, captaba partículas del agua.
- **Modo de vida:** **Sésil**, fijo al fondo mediante un pedículo.

CNIDARIOS



Corales Tabulados

Morfología:
Corales coloniales formados por muchos pequeños tubos calcáreos unidos, como un panel. Cada tubo (o corallito) albergaba un pólipos. Presentan **tabiques horizontales** (llamados **tabulae**) que les dan su nombre. **No tienen tabiques verticales** (o son muy débiles).

Paleobiología:

- **Época:** Muy comunes en el **Paleozoico**, especialmente en el **Silúrico** y **Devónico**. Se extinguieron al final del **Pérmico**.
- **Hábitat:** Marino, en **mares poco profundos y cálidos**.
- **Alimentación:** **Filtradores**, captaban plancton con sus tentáculos.
- **Modo de vida:** **Sésiles**, vivían fijos al fondo, formando arrecifes o colonias.



Cyclolites

Morfología:
Coral fósil de forma **redondeada y masiva**, generalmente **colonial**. Su superficie presenta **estructuras radiales** visibles (parecidas a radios de una rueda) y una **forma casi circular** en vista superior. Presenta **tabiques radiales** bien marcados en su interior.

Paleobiología:

- **Época:** Común en el **Cretácico**.
- **Hábitat:** Marino, en **ambientes costeros poco profundos y cálidos**.
- **Alimentación:** **Filtrador**, se alimentaba de plancton mediante tentáculos.
- **Modo de vida:** **Sésil**, fijo al fondo marino, posiblemente formaba parte de arrecifes.



Placosmilia

Morfología:
Coral fósil generalmente **soitario**, con una **forma cónica o cilíndrica**. Su esqueleto externo tiene **costillas radiales marcadas**, y su interior muestra **tabiques radiales bien desarrollados**. El cáliz (la cavidad superior donde vivía el pólipo) es profundo.

Paleobiología:

- **Época:** Común en el **Jurásico** y **Cretácico**.
- **Hábitat:** Marino, en **ambientes cálidos y poco profundos**.
- **Alimentación:** **Filtrador**, capturaba partículas del agua con tentáculos.
- **Modo de vida:** **Sésil**, vivía fijo al sustrato, probablemente en fondos duros o formando parte de comunidades arrecifales.

①

EQUINODEMOS



Clypeaster

Morfología:
Tiene forma de **disco aplastado**, parecido a una **moneda o platillo**, con una **simetría pentarradial** (de cinco partes). En la cara superior suelen verse **cinco radios en forma de pétalo** (laminas ambulacrales). La cara inferior tiene la **boca en el centro**, y el ano se encuentra desplazado.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Eoceno** hasta la actualidad.
- **Hábitat:** Marino, vivía en **fondos arenosos poco profundos**.
- **Alimentación:** **Detritívoro**, se alimentaba de partículas orgánicas del sedimento.
- **Modo de vida:** **Bentónico**, vivía en o sobre el fondo marino, a menudo **semienterrado**.



Heteraster

Morfología:
Erizo de mar con forma de **coazón (coriforme)** y cuerpo **aplanado descentralizado**. Presenta **simetría bilateral secundaria** (no radial, como los erizos actuales). En la cara superior se observan áreas ambulacrales en forma de estrella, y el **ano está desplazado** hacia la parte posterior.

Paleobiología:

- **Época:** Muy común en el **Cretácico**.
- **Hábitat:** Marino, en **fondos fangosos o arenosos poco profundos**.
- **Alimentación:** **Detritívoro**, se alimentaba de restos orgánicos del sedimento.
- **Modo de vida:** **Bentónico e infaunal**, vivía **semienterrado** en el sedimento blando.



Micraster

Morfología:
Erizo de mar con forma **ovalada y abombada**, con **simetría bilateral secundaria** (no pentarradial como los erizos modernos). En la cara superior presenta áreas ambulacrales formando una estrella de cinco brazos. El **ano está desplazado hacia la parte posterior** y la boca en la cara inferior, más centrada.

Paleobiología:

- **Época:** Muy común en el **Cretácico**.
- **Hábitat:** Marino, vivía en **fondos blandos** (fangosos o arenosos).
- **Alimentación:** **Detritívoro**, comía partículas orgánicas del sedimento.
- **Modo de vida:** **Bentónico e infaunal**, vivía **enterrado parcialmente** en el fondo marino.

①

Inicio COLECCIÓN VIRTUAL PARA PRL... RESULTADOS/TEORÍA

PORÍFEROS Y ARQUEOCIATOS



Arqueociato

Morfología: Organismo marino con estructura porosa y forma de **vasija o copa**. Tienen paredes formadas por pequeños canales y poros que facilitaban la circulación de agua, parecido a las esponjas actuales.

Paleobiología:

- **Época:** Exclusivos del **Cámbrico temprano** (hace aproximadamente 540-510 millones de años).
- **Hábitat:** Marino, en **marcos poco profundos** y cálidos.
- **Alimentación:** **Filtradores**, se alimentaban filtrando partículas del agua.
- **Modo de vida:** **Sésil**, fijo al sustrato, formando comunidades importantes en arrecifes.

Inicio COLECCIÓN VIRTUAL PARA PRL... RESULTADOS/TEORÍA

PLANTAS FÓSILES



Annularia

Morfología: Las hojas están organizadas en **círculos o anillos** alrededor del tallo, con hojas largas y delgadas que parecen "agujas" dispuestas en verticilos.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente del **Carbonífero**.
- **Hábitat:** Zonas pantanosas y húmedas, junto a ríos y lagos.
- **Importancia:** Formaban parte de los grandes bosques que luego dieron origen a los carbones actuales.



Calamites

Morfología: Tallos largos y segmentados, con nudos visibles (como los bambú). Los tallos eran **cilíndricos y huecos** en su interior, con marcas anulares en los nudos. Las hojas (que se encuentran como fósiles de tipo Annularia) se disponían en verticilos alrededor del tallo.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente del **Carbonífero y Pérmico**.
- **Hábitat:** Zonas húmedas, pantanosas y ribereñas.
- **Importancia:** Formaban grandes bosques que luego dieron origen a depósitos de carbón.



Lepidodendron

Morfología: Tronco largo y cilíndrico, con marcas en forma de **escamas o diamantes** que corresponden a las bases de las hojas caídas. Estas marcas se llaman **lepidófitos**. Las hojas eran largas y delgadas, dispuestas en espiral.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente del **Carbonífero**.
- **Hábitat:** Zonas pantanosas y húmedas.
- **Importancia:** Fue uno de los principales árboles de los bosques carboníferos que dieron lugar a grandes depósitos de carbón.



Neuropteris

Morfología: Hojas largas, divididas en folíolos alargados y con venación reticulada (en forma de malla). Es común encontrar las hojas fosilizadas muy bien conservadas.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente del **Carbonífero y Pérmico**.
- **Hábitat:** Bosques húmedos y pantanosos.
- **Importancia:** Parte de la vegetación que contribuyó a la formación de carbones fósiles.



Stigmaria

Morfología: Se presentan como raíces ramificadas con marcas circulares llamadas **stigmas** (de ahí el nombre), que son las cicatrices donde se unían las raíces laterales. Las raíces tienen forma de "espeñado" o "hachados" alargados.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente del **Carbonífero**.
- **Hábitat:** Suelo pantanoso y húmedo.
- **Importancia:** Indicaban la presencia de grandes bosques de licopodios gigantes que formaron los depósitos de carbón.

Inicio COLECCIÓN VIRTUAL PARA PR... RESULTADOS/TEORÍA

VERTEBRADOS FÓSILES



Diente de Carcharodon

Descripción:
Dientes grandes, triangulares y afilados, con bordes serrados, diseñados para cortar carne. Son fósiles muy comunes y fáciles de reconocer.

Paleontología:

- **Época:** Desde el **Mioceno** hasta la actualidad (aproximadamente últimos 20 millones de años).
- **Hábitat:** Marino, océanos abiertos.
- **Alimentación:** Carnívoro, cazador activo que se alimenta de peces y mamíferos marinos.
- **Importancia:** Sus dientes fósiles ayudan a estudiar la evolución de los grandes tiburinos blancos.



Dentadura de Hipparion

Descripción:
Hipparion es un género de caballos fósiles con dientes especializados para pastar. Su dentadura tiene **muelas altas (hipsodontes)**, adaptadas para triturar pasto duro y fibroso. Los molares tienen una superficie compleja con crestas y fosas para desgastar el material vegetal.

Paleontología:

- **Época:** Desde el **Mioceno** hasta el **Pleistoceno** (aproximadamente 20 millones a 10 mil años atrás).
- **Hábitat:** Pastos y sabanas abiertas.
- **Alimentación:** Herbívoro, principalmente pastador.
- **Importancia:** Su dentadura muestra adaptaciones evolutivas hacia una dieta de pasto, diferente de sus antecesores que comían hojas.

Inicio COLECCIÓN VIRTUAL PARA PR... RESULTADOS/TEORÍA

ARTRÓPODOS



Cruziana

Cruziana es un **trilobito**, es decir, una huella o rastro fósil que dejó un organismo al desplazarse o alimentarse. Son raras en forma de esqueleto o exoesqueleto, generalmente hechas por trilobitos u otros artrópodos marinos.

Morfología:

- Sencillos o estilizados alargados, con bordes bien definidos y a veces curvados.
- Pueden medir desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros.
- A menudo se encuentran en rocas sedimentarias marinas.

Paleontología:

- **Época:** Muy comunes desde el **Cámbrico** hasta el **Devónico** y más allá.
- **Hábitat:** Fondos marinos poco profundos.
- **Importancia:** Indican la presencia y comportamiento de organismos que vivían o se movían sobre el sedimento.



Trilobites

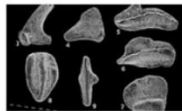
Los Trilobites son artrópodos marinos extintos que vivieron desde el **Cámbrico** hasta el **Permiano**. Tienen un cuerpo segmentado y duro, **monocéfalo** dividido en tres lóbulos longitudinales (de ahí su nombre: *tri* = tres, *lobos* = lóbulos).

Morfología:

- Cuerpo dividido en tres partes: **cefálico** (cabeza), **torax** (segmentos móviles) y **pirapio** (cola).
- Posían antenas y ojos compuestos.
- Tienen apéndices para caminar y alimentarse.

Paleontología:

- **Época:** Desde hace aproximadamente 521 a 252 millones de años.
- **Hábitat:** Marinos, en diferentes ambientes desde fondos poco profundos hasta más profundos.
- **Alimentación:** Variada: algunos eran carroñeros, otros depredadores o filtradores.
- **Importancia:** Son fósiles índice que ayudan a datar rocas del Paleozoico.



Conodontos

Los conodontos son microfósiles en forma de pequeños dientes o estructuras dentales fosilizadas, pertenecientes a organismos marinos muy primitivos parecidos a peces. Aunque solo se conocen por estas partes dentales, se cree que eran parte de un animal alargado y sin mandíbula.

Morfología:

- Estructuras pequeñas, generalmente de pocos milímetros, con formas variadas: puntas, barras o elementos en forma de gancho.
- Formaban una especie de "armadura dental" que ayudaba a atrapar y procesar alimento.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el **Cámbrico** hasta el **Triásico** (hace aproximadamente 520 a 200 millones de años).
- **Habitat:** Marinos, organismos nadadores en aguas abiertas.
- **Importancia:** Son excelentes **fósiles índice** para datar rocas sedimentarias marinas, especialmente del Paleozoico y Triásico.



Fusulinas

Las fusulinas son foraminíferos fósiles, organismos unicelulares con un caparazón (testa) muy alargado y enrollado en espiral. Su concha está compuesta de carbonato de calcio y tiene paredes muy delgadas y complejas.

Morfología:

- Forma alargada, parecida a un pequeño cigarrillo o fusiforme.
- La concha está formada por cámaras internas segmentadas, organizadas en espiral.
- Tamaño: varían de milímetros a algunos centímetros.

Paleobiología:

- **Época:** Muy comunes desde el **Carbonífero** hasta el **Pérmico**.
- **Habitat:** Marinos, en ambientes de aguas poco profundas y cálidas.
- **Importancia:** Usadas como **fósiles índice** para datar rocas sedimentarias y para estudios paleoclimáticos y paleoambientales.



Glauconia

Glauconia es un género de foraminíferos bentónicos, organismos unicelulares con conchas calcáreas, que viven en ambientes marinos. Sus conchas suelen ser pequeñas, esféricas o ligeramente elongadas, y con cámaras múltiples.

Morfología:

- Concha calcárea con varias cámaras organizadas en espiral o series.
- Tamaño pequeño, generalmente microscópico.

- Pared fina y con perforaciones que permiten intercambio de sustancias.

Paleobiología:

- **Época:** Desde el Mesozoico hasta el Cenozoico.
- **Habitat:** Fondos marinos poco profundos, generalmente en ambientes marinos templados o cálidos.
- **Importancia:** Son útiles como fósiles índice para datar rocas sedimentarias marinas y estudiar ambientes paleoambientales.



Nummulites

Nummulites es un género de foraminíferos grandes y con forma discoidal, parecidos a monedas (de ahí su nombre, que significa "moneda"). Estos microorganismos unicelulares tenían conchas calcáreas muy visibles a simple vista.

Morfología:

- Concha en forma de disco plano o ligeramente convexa.
- Interior con muchas cámaras en espiral, visibles en un corte transversal.
- Tamaño puede variar desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros.

Paleobiología:

- **Época:** Principalmente del **Eoceno** y **Oligoceno** (hace aproximadamente 56 a 23 millones de años).
- **Habitat:** Marinos, en ambientes de aguas cálidas y poco profundas.
- **Importancia:** Son fósiles índice importantes para datar rocas del Paleógeno y para estudiar ambientes marinos antiguos.

Inicio COLECCIÓN VIRTUAL PARA FRL RESULTADOS/TEORÍA

OTROS FÓSILES Y ROCAS FOSILÍFERAS



Caliza fosilífera

La caliza fosilífera es una roca sedimentaria compuesta principalmente por **carbonato de calcio** que contiene una gran cantidad de fósiles visibles. Estos fósiles pueden ser fragmentos o cuerpos completos de organismos marinos como moluscos, corales, braquiópodos, entre otros.

Morfología:

- Roca con textura variada, desde gruesa hasta fina.
- Contiene fósiles visibles a simple vista o con lupa.
- Color generalmente gris, blanco o beige.

Paleobiología / Geología:

- **Origen:** Formada en ambientes marinos, donde se acumulan restos de organismos con conchas o esqueletos calcáreos.
- **Importante:**
 - Proporciona información sobre los organismos que vivieron en el pasado.
 - Ayuda a interpretar ambientes sedimentarios antiguos.
 - Puede usarse para datar estratos en combinación con los fósiles que contiene.



Oligisto fosilífero

El oligisto fosilífero es una roca sedimentaria compuesta principalmente por fragmentos de **oligisto** (un tipo de mineral, generalmente cuarzo microcristalino) y contiene fósiles visibles. Se caracteriza por ser una roca arenosa con restos fósiles incrustados.

Morfología:

- Textura arenosa o conglomerádica.
- Presenta fósiles visibles o fragmentos de organismos marinos.
- Color variable, según el tipo de matriz y minerales presentes.

Paleobiología / Geología:

- **Origen:** Se forma en ambientes donde se depositan arenas ricas en oligisto junto con restos fósiles.