



Universidad
de La Laguna

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación
Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y
Enseñanza de Idiomas

APRENDIZAJE BASADO EN MODELOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA Y LA GEOLOGÍA

Paula Fort Acosta

Curso académico 2022-2023

Tutorizado por: María Candelaria Martín Luis

RESUMEN

Cada vez son más los estudios que aseguran los beneficios de unas metodologías más activas y prácticas, frente a las más expositivas y tradicionales. Una de estas metodologías que se encuentra en auge actualmente es el Aprendizaje Basado en Modelos (ABM), un enfoque educativo que utiliza la construcción y manipulación de modelos como herramientas centrales para el proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, se ha demostrado que el ABM es un buen método para trabajar la paleontología en las aulas, solventando y superando algunas de las dificultades y obstáculos epistemológicos en la adquisición de los conceptos paleontológicos, sobre todo por parte del alumnado de Educación Secundaria Obligatoria. Con este Trabajo de Fin de Máster, se pretende comprobar si la combinación de una actividad más práctica y manipulativa, con actividades basadas en el ABM, proporciona una mejora significativa en el conocimiento del alumnado sobre la paleontología, además de potenciar la atención sostenida y la motivación del alumnado. A través de este trabajo se ha podido constatar, mediante la realización de un test de conocimientos y de satisfacción, y el posterior estudio de los resultados obtenidos, una mejora cualitativa y cuantitativa de los mismos, lo que denota una comprensión más profunda y completa de la temática en cuestión.

ABSTRACT

Several studies are showing the benefits of more active and practical methodologies, as opposed to more expository and traditional ones. One of these methodologies that is currently on the rise is Model-Based Learning (MBL), an educational approach that uses the construction and manipulation of models as central tools for the teaching and learning process. In addition, it has been demonstrated that MBL is a good method to work paleontology in the classroom, solving and overcoming some of the epistemological difficulties and obstacles in the acquisition of paleontological concepts, especially by students in Obligatory Secondary Education. The purpose of this Master's Thesis is to check whether the combination of a more practical and manipulative activity with activities based on the MBL, provides a significant improvement in the students' knowledge of paleontology as well as to enhance sustained attention and motivation. Through

this project it has been possible to verify, by the completion of knowledge and satisfaction tests, and the subsequent study of the results obtained, a qualitative and quantitative improvement of the same, which denotes a deeper and more complete understanding of the subject matter in question.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. El ABM, un enfoque de enseñanza activa	7
1.2. Características y beneficios del ABM.....	8
1.3. La modelización como práctica científica.....	10
1.4. Modelos mentales en el aula	12
1.4.1. ¿Cómo pasar de estos modelos mentales a modelos aprobados científicamente?.....	14
1.4.2. Surgimiento de los modelos mentales en los sujetos	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INNOVACIÓN.....	19
2.1. ¿Qué sabemos sobre la didáctica de fósiles en las aulas?.....	19
2.2. Dificultades y obstáculos epistemológicos en la adquisición de los conceptos paleontológicos.....	21
2.3. Aportación de los modelos mentales en las clases sobre fósiles.....	24
3. OBJETIVOS	27
4. PLAN DE INTERVENCIÓN	29
4.1. Contextualización.....	29
4.1.1. Datos generales del centro	29
4.1.2. Área de influencia	30
4.1.3. Datos del entorno social y económico	31
4.1.4. Infraestructuras y dotaciones materiales	31
4.1.5. Características de las familias	32
4.1.6. Características generales del alumnado.....	33
4.1.7. Características generales del profesorado	34
4.2. Vinculación con el currículo	35
4.3. Secuenciación de actividades.....	37
4.4. Plan de seguimiento.....	48

5. RESULTADOS	59
5.1. Análisis de resultados para el grupo experimental.....	64
5.2. Análisis de resultados para el grupo de control.....	66
5.3. Análisis sobre la satisfacción del alumnado.....	68
6. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA	71
7. AGRADECIMIENTOS	74
8. BIBLIOGRAFÍA	75
9. ANEXOS	83

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, aún prevalece en las escuelas un enfoque educativo centrado en la mera transmisión de contenidos, donde los/as estudiantes son considerados como meros receptores pasivos de una vasta cantidad de información, mientras que el profesorado ostenta el papel de poseedor exclusivo del conocimiento. Ante este exceso de información, los/as jóvenes se enfrentan a dificultades para discernir lo esencial en una situación específica y aplicarlo de manera práctica en su día a día.

El desafío radica en cultivar en el alumnado la habilidad de buscar, seleccionar y utilizar los contenidos adecuados, así como de organizar la información de manera significativa y generar soluciones a los problemas que se les presenten. En resumen, debemos promover una enseñanza que fomente la participación activa y ayude a los/as estudiantes a desarrollar su capacidad de atención. En este sentido, es fundamental crear un entorno estimulante y desafiante que favorezca el aprendizaje. El papel del/a docente es crucial en este proceso. Siempre debemos tener presente la razón por la cual el alumnado necesita aprender ciertos contenidos y cómo estos pueden tener relevancia en sus vidas (Peticarrari & Figueiredo, 2022). En consecuencia, las actividades centradas en el/la estudiante, que fomenten la interactividad, proporcionen orientación y establezcan objetivos claros, son recursos compatibles con lo que se sabe sobre los procesos de atención (Cosenza & Guerra, 2011).

La investigación en neurociencia está revelando la importancia de la participación activa y la atención en el desarrollo cognitivo. Es decir, los/as estudiantes aprenden de manera más efectiva y rápida cuando su experiencia educativa se lleva a cabo en un entorno interactivo con metas claras y revisiones orientadas al error (Dehaene, 2019).

En relación a este contexto y entre las diversas metodologías activas, se destacan algunas como el Aprendizaje Basado en Proyectos, el Aprendizaje Basado en Problemas, el Aprendizaje Basado en Retos o el Aprendizaje basado en Modelos (ABM). Esta última metodología se considera bastante innovadora y cada vez va teniendo más protagonismo en las aulas, ya que varios estudios defienden los beneficios que presenta el ABM en el alumnado, lo cual se

comentará más adelante. Además, el ABM postula que la modelización es fundamental para la práctica científica y, por lo tanto, puede desempeñar un papel central en el proceso de enseñanza y aprendizaje (Wilson et al., 2020). Diversos estudios han evidenciado la relación entre la modelización y aspectos neurofuncionales, como el papel de la corteza prefrontal en el razonamiento basado en modelos y la importancia del control proactivo en enfoques basados en objetivos (Braver, 2012; Huang et al., 2020).

Al crear modelos para explicar o predecir fenómenos, los/as estudiantes deben comprender los conceptos y variables relevantes, siendo capaces de identificar cuáles son fundamentales en su construcción. El uso de la modelización parece ser una herramienta prometedora para fomentar el compromiso activo, la atención y el *feedback* basado en el error, ayudando al alumnado a desarrollar la habilidad de buscar y seleccionar contenido pertinente, así como organizarlo de manera significativa para comprender los fenómenos naturales. Sin embargo, aún se requiere de una base más sólida en la realización de estudios sistemáticos con ABM (Peticarrari & Figueiredo, 2022; Seel, 2017). En este trabajo, se hará una revisión de la literatura sobre el ABM, y se realizará un estudio, comentado más adelante, para analizar los beneficios que puede tener la aplicación de este en las aulas.

1.1. El ABM, un enfoque de enseñanza activa

El aprendizaje basado en modelos es la formación y posterior desarrollo de modelos mentales por parte de un/a alumno/a. Este es un enfoque educativo que utiliza la construcción y manipulación de modelos como herramientas centrales para el proceso de enseñanza y aprendizaje. Estos modelos se utilizan principalmente para comprender fenómenos dinámicos, organizando la información sobre cómo interactúan los componentes de los sistemas para producir dichos fenómenos (Buckley, 2000). Los modelos mentales surgen cuando una tarea exige la integración de múltiples aspectos o niveles de un sistema o situación (Fig. 1). La formación de modelos implica la integración del conocimiento previo con nueva información sobre la instancia en un modelo mental de la situación. Una vez creado este modelo mental, se puede utilizar

para realizar la tarea y, por tanto, se debe evaluar su utilidad para llevarla a cabo. Si el modelo mental se considera útil, se refuerza y puede convertirse en una rutina con el uso repetido. Si el modelo mental se considera inadecuado, puede rechazarse y crearse otro, o puede revisarse y utilizarse de nuevo. Las revisiones pueden implicar cambios en algún elemento del modelo o la adición de elementos a éste para realizar mejor la tarea. Estos elementos también pueden ser sistemas dinámicos. Idealmente, el aprendizaje basado en modelos da lugar a modelos mentales ricos, multinivel e interconectados que son extensibles y útiles para comprender el mundo (Buckley, 2012).

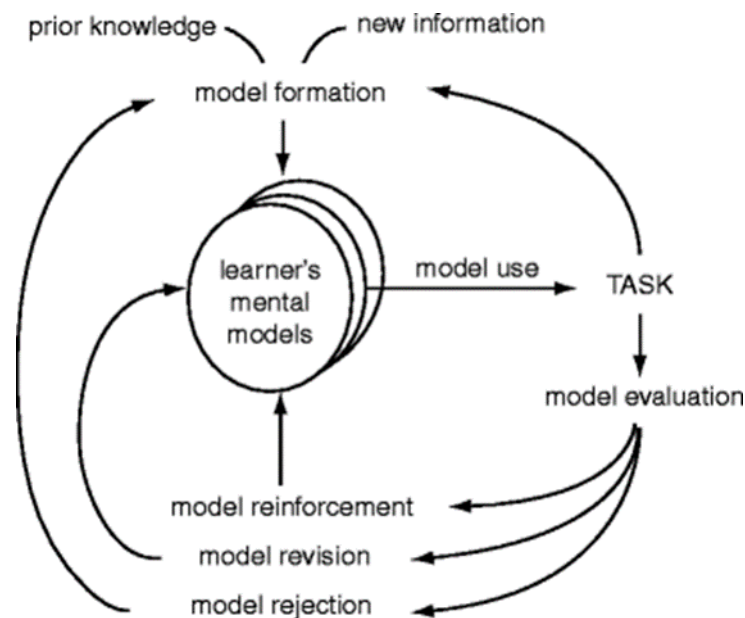


Figura 1. Esquema sobre la construcción del ABM (Buckley, 2012).

1.2. Características y beneficios del ABM

La creación de modelos mentales para operar en el mundo está presente en todas partes, y además es espontánea; gran parte de ella es inconsciente (Johnson-Laird, 1983). Cuando no es así, el factor que desempeña un papel crucial en el ABM es la motivación (Seel, 2003). Dicho esto, ¿qué motiva a un alumno o alumna a participar en el aprendizaje basado en modelos? Los/as psicólogos/as que investigan la motivación han contrastado la motivación

intrínseca frente a la extrínseca, el deseo de comprender frente al deseo de rendir, o el aprendizaje espontáneo frente al intencional y frente al dirigido. Sin duda, en el ABM influye todo ello, así como la epistemología del alumno o alumna. Si el alumnado cree que las ilustraciones o los modelos físicos que encuentran en la enseñanza deben memorizarse y repetirse, es poco probable que inviertan el esfuerzo necesario para construir modelos mentales de los fenómenos representados (Gilbert & Boulter 2000). Sin embargo, si están motivados/as por el deseo de comprender, intentarán construir modelos mentales y plantear preguntas en consecuencia (Buckley 2000).

La construcción del conocimiento, ya sea a nivel individual o grupal, implica una interacción fluida entre modelos mentales, modelos expresados y modelos consensuados. Tanto en el ámbito científico, como en el aula, o en el proceso de comprensión individual por parte de cualquier persona, la construcción de modelos implica ciclos de generación, uso, evaluación y revisión de dichos modelos. Como resultado, se produce una progresión de modelos, ya sea históricos, naturalistas o guiados por la instrucción, los cuales forman una red de conocimiento interconectada que puede ser explorada y examinada de diversas formas. De esta manera, se crea una ecología conceptual que influye en el aprendizaje futuro (Buckley, 2012).

El ABM se basa en la idea de que los/as estudiantes aprenden de manera más efectiva cuando participan activamente en la construcción y manipulación de modelos, en lugar de simplemente recibir información de manera pasiva. Al interactuar con los modelos, los alumnos y alumnas pueden desarrollar habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y razonamiento científico.

Existen diferentes tipos de modelos utilizados en el ABM, como modelos físicos, diagramas, representaciones gráficas, simulaciones por ordenador, entre otros. Estos modelos pueden ser utilizados en una variedad de disciplinas, incluyendo ciencias naturales, matemáticas, ciencias sociales y tecnología (Adúriz-Bravo, 2013).

Algunos beneficios del ABM incluyen:

- **Comprensión profunda:** Al construir y manipular modelos, los estudiantes pueden adquirir una comprensión más profunda de los conceptos y fenómenos que están estudiando. Pueden explorar relaciones causa-efecto, realizar predicciones y comprender las implicaciones de diferentes variables.
- **Pensamiento crítico:** El ABM fomenta el pensamiento crítico y analítico, ya que los estudiantes deben evaluar la validez y precisión de los modelos que están construyendo. También pueden examinar y cuestionar supuestos subyacentes y desarrollar habilidades para tomar decisiones informadas.
- **Aprendizaje activo:** El ABM involucra a los estudiantes de manera activa en el proceso de aprendizaje. En lugar de simplemente recibir información, los estudiantes son participantes activos en la construcción y manipulación de modelos, lo que promueve un mayor compromiso y motivación.
- **Transferencia de conocimientos:** El ABM facilita la transferencia de conocimientos a nuevas situaciones y contextos. Al comprender los conceptos y principios a través de la construcción de modelos, los estudiantes pueden aplicar ese conocimiento en diferentes escenarios y resolver problemas de manera más efectiva.

El ABM ha sido aplicado con éxito en diversos entornos educativos, desde escuelas primarias hasta niveles superiores de educación. Se ha demostrado que mejora el aprendizaje y la retención de conocimientos, así como el desarrollo de habilidades cognitivas y metacognitivas.

1.3. La modelización como práctica científica

En el ámbito de la didáctica de las ciencias, el término modelo se emplea para hacer referencia a las representaciones con las que explicamos y visualizamos los fenómenos científicos (Gilbert et al., 2000; Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001; Schwarz et al., 2009; entre otros). Lo que permite esa representación es el hecho de que los modelos están conformados por elementos que pueden ser identificados con aspectos del mundo real (Giere,

2004). En sí, los modelos engloban un conjunto de ideas o teorías de manera que una teoría puede ser representada por un modelo, o bien, varios modelos pueden conformar una teoría (Gilbert & Justi, 2016).

Dentro de la clasificación de modelos establecida por Gilbert et al. (2000), deben destacarse el modelo mental y el expresado, dado que el análisis del modelo del alumnado debe realizarse mediante el modelo expresado porque su modelo mental es inaccesible. El modelo expresado se puede manifestar mediante diversos modos de representación: concreto o material (modelos materiales, maquetas), verbal (descripción, explicación, analogía y metáfora) y visual (diagramas, animaciones, simulaciones) considerando la clasificación de (Boulter & Buckley, 2000).

Además de permitir explicar los fenómenos científicos, en general, los modelos se caracterizan por: 1) facilitar la visualización de procesos y entidades abstractas (Oliveira et al., 2015), 2) formular predicciones sobre los fenómenos (Franco & Colinviaux, 2000; Schwarz et al., 2009), 3) generar nuevas ideas (Gilbert & Justi 2016) y 4) están limitados por las visiones del mundo y creencias de las personas (Franco & Colinviaux, 2000).

Considerando la enseñanza basada en las prácticas científicas, es importante que los/as estudiantes evalúen sus propios modelos, modificándolos o rechazándolos en lo que se conoce como modelización (Justi & Gilbert, 2002; Oliva, 2011). El proceso de modelización propuesto por Justi & Gilbert (2002), en el diagrama del modelo de modelización (Fig. 2), consta de cuatro etapas que comprenden: elaboración (mental), expresión (según diferentes modos de representación), comprobación (mental o empírica) y evaluación del modelo. Dado que en el proceso de modelización la relación entre las etapas no sigue un orden determinado, los autores propusieron una versión del modelo de modelización en el que las cuatro fases están conectadas entre sí (Gilbert & Justi 2016).

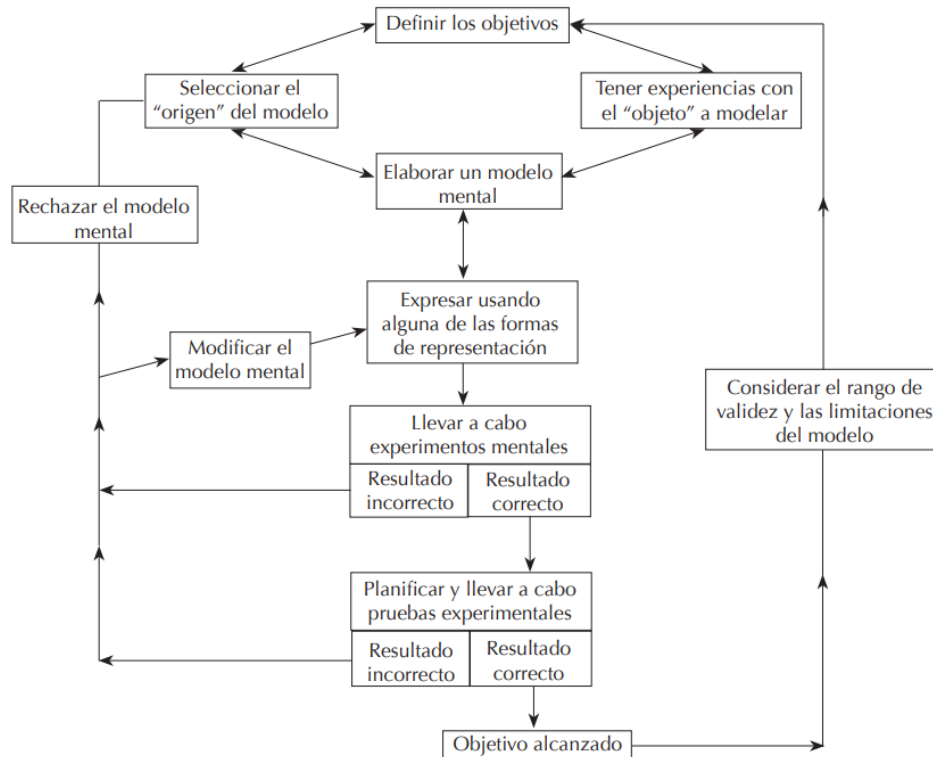


Figura 2. Diagrama de Modelo de Modelación (Justi & Gilbert, 2002).

1.4. Modelos mentales en el aula

Al igual que ocurre con el proceso de aprendizaje, en el ámbito de las ciencias se tratan temas que implican conceptos, teorías y modelos, los cuales a menudo contradicen la comprensión que los individuos pueden tener a través de su percepción. En numerosas ocasiones, los fenómenos estudiados son abstracciones que se realizan a partir de realidades concretas (como los estudios sobre el Sistema Solar o la forma de la Tierra) con el fin de representarlos (Ocampo, 2017).

Johnson-Laird (1983), en su libro *Mental Models*, plantea la existencia de diferentes formas de representación que utiliza la mente, una de las cuales son los llamados “modelos mentales” (los otros son las proposiciones y las imágenes) a partir de los cuales las personas desarrollan razonamientos “naturales” sobre las realidades.

Algunos de los estudios clásicos han sido realizados en el campo del razonamiento, pues la teoría de los modelos mentales ha surgido como una

alternativa a la explicación de la comprensión desde la perspectiva del razonamiento lógico y la lógica en general. Se han realizado numerosos trabajos en este campo, entre ellos el desarrollado por Johnson Laird (2008), que aborda investigaciones sobre el razonamiento deductivo.

En este estudio se presentan varios ejemplos relacionados con proposiciones, a partir de los cuales se llega a la conclusión de que el razonamiento está basado en modelos de posibilidades, donde cada modelo representa lo que es común a las diferentes posibilidades. De esta manera, se construye un modelo mental para cada estado de cosas o situación. Según este estudio, los modelos mentales son icónicos, y sus estructuras reflejan la estructura de las posibilidades que están representando. Se sustentan en el principio de verdad, lo que significa que solo se representan las premisas de las posibilidades que son verdaderas y cada individuo desarrolla diferentes estrategias para el razonamiento.

Indudablemente, este estudio constituye una contribución significativa para comprender el razonamiento humano, ya que precisa que no solo se utiliza el razonamiento lógico, sino que la mente modela las situaciones y, a partir de ello, se obtienen conclusiones. De esta manera, se pasa de juzgar la "verdad" del razonamiento a considerar la integridad de los modelos construidos.

En algunas perspectivas de investigación sobre la enseñanza de las ciencias, se considera el aprendizaje como un proceso de modelización por parte del alumnado. Por lo tanto, los modelos mentales adquieren un papel destacado en estas investigaciones, ya que se busca identificarlos con el fin de comprender tanto los obstáculos como los facilitadores del aprendizaje. Como resultado de este proceso, se espera construir otros modelos, especialmente aquellos que son aceptados por las comunidades científicas.

En relación a la identificación y construcción de modelos, se destacan los trabajos realizados por (Moreira et al., 2002), quienes consideran que la teoría de los modelos mentales desarrollada por Johnson-Laird constituye una base fundamental para estudiar cómo los/as estudiantes comprenden los fenómenos físicos y los diversos conceptos propios de las ciencias naturales y físicas, y cómo se pueden derivar aplicaciones didácticas a partir de esta comprensión.

También se ha indagado acerca de las diversas representaciones que las personas pueden tener de un mismo fenómeno, incluso cuando se presenta de manera idéntica y con el mismo material en un entorno educativo, por ejemplo, en una clase. Se ha observado que existen diferencias individuales en estas representaciones, ya que múltiples formas de representar un mismo estado de cosas pueden surgir entre un grupo de personas que han recibido la misma instrucción. Estos estudios se han llevado a cabo con el propósito de enriquecer las prácticas educativas y mejorar los procesos de aprendizaje. En este sentido, comprender los modelos mentales que los estudiantes construyen ha sido una opción valiosa en las investigaciones recientes.

1.4.1. ¿Cómo pasar de estos modelos mentales a modelos aprobados científicamente?

Las personas que se encuentran en situaciones de formación y en su vida cotidiana, desarrollan modelos mentales para comprender las cosas y los fenómenos que los rodean. Debido a que estos modelos difieren de los modelos propuestos por las ciencias y que la escuela intenta transmitir a los/as estudiantes, resulta necesario implementar estrategias didácticas, preferentemente constructivas e interactivas, según lo sugieren los investigadores, para lograr un aprendizaje más profundo en los estudiantes (Ocampo, 2017).

Conscientes de que en el contexto educativo a menudo surgen discrepancias entre los "modelos expresados" y los modelos mentales de los/as alumnos/as, lo cual tiene implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje, (Bohigas & Periago, 2010) llevaron a cabo un estudio con estudiantes de segundo año de ingeniería. Su objetivo fue explorar los modelos mentales relacionados con la Ley de Coulomb y el campo eléctrico. Al finalizar el estudio, descubrieron que los modelos mentales construidos por los/as estudiantes eran coherentes, pero no se ajustaban a los modelos desarrollados por la ciencia. Esto demuestra nuevamente la discrepancia entre los modelos elaborados por los científicos y los modelos mentales del alumnado, especialmente cuando los fenómenos representados no son fácilmente identificables en el mundo físico.

Como consecuencia para la enseñanza, los autores sostienen que el diseño de actividades de aprendizaje debe tener en cuenta los modelos mentales de los/as estudiantes, ya que estos tienen una gran influencia en los procesos de modelización posteriores. Por lo tanto, una tarea para los/as docentes será identificar los modelos que el alumnado ha construido sobre el tema de estudio y, a partir de ello, organizar los procesos, actividades, ejemplos y recursos que se utilizarán.

Considerando que los modelos mentales deben ser tanto análogos estructurales, como funcionales y comportamentales del mundo (Craick, 1943; Nersessian, 2013), se han llevado a cabo investigaciones que muestran los componentes del modelo y que enfatizan cómo las personas ponen en práctica dichos modelos ("rodar el modelo").

Uno de estos estudios es el trabajo realizado por Nappa et al. (2017), en el que los investigadores lograron identificar características de los modelos mentales expresados. Estas características se agruparon de la siguiente manera: economía en el número de elementos del modelo, diferentes niveles de abstracción, construcción basada en ideas previas, modificación en el número de elementos del modelo según la complejidad de la tarea a resolver, modificación en el modelo de trabajo adaptándolo a nuevas circunstancias o trabajando con otros conceptos o parámetros, y abandono de tareas cuando los modelos resultan insuficientes para hacer predicciones precisas o las predicciones son incorrectas.

De acuerdo con lo establecido por Vosniadou (1994), estos modelos no son más que representaciones mentales de esquemas de relaciones funcionales que las personas construyen al desarrollar funciones cognitivas para interactuar con el mundo. Su función inmediata es abordar demandas específicas en la resolución de problemas. Estos modelos son necesarios para la creación de expresiones formales que conforman las leyes y axiomas de las teorías (Nersessian, 2002), como resultado de las abstracciones que las personas realizan sobre las realidades que intentan comprender.

Son evidentes las diferencias que hay entre los modelos mentales de las personas y los modelos construidos por los científicos. Aunque ambos pueden

referirse a las mismas realidades, como las físicas, sus lógicas son diferentes. Mientras que los modelos mentales pueden ser incompletos (no necesariamente verdaderos o falsos), pero funcionales, los modelos científicos deben cumplir con condiciones de verdad dentro de ciertos marcos teóricos, además de contar con el consenso y la aprobación de la comunidad científica en la que se desarrollan (Ocampo, 2017).

A través de la comprensión alcanzada sobre cómo operan las actividades mentales asociadas al aprendizaje, en particular aquellas relacionadas con la construcción de modelos mentales, los investigadores han introducido el concepto de modelización.

1.4.2. Surgimiento de los modelos mentales en los sujetos

Según la teoría de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983; Johnson-Laird & Byrne, 1991), se plantea que la mente construye representaciones del mundo a partir de las cuales las personas razonan. Estas construcciones se basan en la percepción, la imaginación, el conocimiento y la comprensión del discurso (Johnson-Laird, 2006), y se procesan en la memoria a corto plazo (Solaz & Sanjosé, 2008).

En un artículo de Seel et al. (2000), se propone que existen tres fuentes para la construcción de los modelos:

1. Las habilidades inductivas de los estudiantes.
2. Las observaciones cotidianas en combinación con la adaptación de los modelos culturales.
3. Las explicaciones recibidas de otras personas.

En términos de Seel (2006), aunque los modelos pueden surgir naturalmente a través del autoaprendizaje o la autoorganización, esto resulta insuficiente, y un diseño de enseñanza cuidadoso se vuelve crucial. Estas ideas también respaldan las teorías sobre la modelización ampliamente utilizadas en la enseñanza de las ciencias.

Estos modelos se construyen a partir de enunciados proposicionales y razonamiento (Moreno et al., 1998). En la tradición de la lógica formal, se han identificado dos tipos de razonamiento que pueden aplicarse en la resolución de problemas: inducción y deducción. Sin embargo, cuando se profundiza en los modelos mentales, se introduce una tercera forma de razonamiento conocida como "abducción" o inferencia abductiva. Como lo expresó Peirce (1965), "la deducción demuestra que algo debe ser; la inducción muestra que algo es actualmente operativo; la abducción sugiere simplemente que algo puede ser" (Orellana et al., 2006).

Los modelos mentales se encuentran disponibles en la mente de los individuos, pero solo se activan en situaciones especiales, como la resolución de problemas o la presencia de un objeto o fenómeno. Una fuente generadora de modelos son los conocimientos o ideas previas (Nappa et al., 2017; Otero & Banks-Leite, 2006) según Johnson-Laird (1983). A través de conceptos relacionados, las personas pueden generar modelos que les permitan obtener nuevas comprensiones sobre fenómenos, hechos o percepciones. Sin embargo, al mismo tiempo que facilitan la aparición de modelos, estos conceptos arraigados pueden convertirse en obstáculos para la construcción de nuevos modelos cuando resultan insuficientes para resolver problemas, explicar o predecir situaciones (Ocampo, 2017).

Según los escritos de Johnson-Laird, los modelos mentales son construcciones que se forman a partir de elementos básicos organizados en una estructura específica. Estos elementos básicos pueden ser los "primitivos conceptuales", que son innatos y se organizan en una estructura determinada; pueden ser proposicionales, basados en imágenes o contener proposiciones (Johnson-Laird, 1983). También existen los "primitivos procedimentales", que también son innatos pero difíciles de describir debido a que se encuentran fuera de la conciencia (Johnson-Laird, 1983). Ambos tipos de elementos se convierten en modelos dentro de los modelos, es decir, forman una estructura interna a partir de la cual se elaboran los modelos. Esto refleja una especie de constructivismo que reconoce la existencia de un punto de partida innato (Moreira et al., 2002).

Según Moreira et al. (2002), los modelos mentales pueden convertirse en "representaciones mentales más estables, como esquemas o reglas de orden superior" (Otero & Banks-Leite, 2006).

En las perspectivas cognitivo-culturales (Rodrigo, 1994, 1997, 1999), se señala que los modelos mentales se construyen a través de procesos de internalización y externalización en entornos socioculturales. La construcción de modelos mentales se entiende como un proceso incremental y flexible, sujeto a cambios generados por la participación, negociación y ajuste de objetivos que caracterizan las acciones humanas (Rodrigo, 1997). Esto resalta una de las características de los modelos, que es su flexibilidad, y enfatiza que los modelos son construcciones personales, pero fuertemente influenciadas por otros y por los contextos. Según Rogoff et al. (2002), los modelos mentales son construcciones mentales mediadas por diferentes artefactos y se desarrollan en procesos de interacción, inserción y transformación dentro de comunidades de práctica de aprendices, que son contextos socioculturales.

En situaciones educativas institucionalizadas, se recomienda proporcionar suficiente información a los/as estudiantes y asegurarse de que se pueda alinear con su conocimiento previo sobre el tema que se va a representar (Solaz-Portolés & Sanjosé López, 2007), especialmente cuando la información es de tipo declarativo y contextual. Este enfoque, que es común en casi todas las perspectivas pedagógicas, se ve fortalecido aquí por el papel crucial que desempeña la actividad cognitiva en el aprendizaje derivado de la enseñanza, y seguramente contribuirá a la conciencia que los maestros y maestras deben tener sobre los procesos que deben fomentar en su alumnado.

En resumen, desde la perspectiva interaccionista asumida a partir de la riqueza teórica presentada, se reconoce que los modelos se forman a partir de diversas fuentes mediante procesos de internalización y externalización. Estos modelos están compuestos por componentes ontológicos, axiológicos, conceptuales, actitudinales, pragmáticos y epistemológicos, y tienen la capacidad de ser transformados por las personas debido a su dinamismo y a las experiencias de la vida cotidiana, así como a situaciones más formales y estructuradas, como las proporcionadas por la educación escolar.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INNOVACIÓN

2.1. ¿Qué sabemos sobre la didáctica de fósiles en las aulas?

Como ya se sabe, la paleontología posee una relevancia y repercusión social considerable, pues abarca temáticas muy interesantes tales como nuestra propia historia y el surgimiento y extinción de los dinosaurios, entre muchas otras. Además, el tema de los seres del pasado suele captar la atención de los/as estudiantes, despertando su curiosidad y disparando su imaginación, desde edades muy tempranas hasta jóvenes de secundaria (Bercial et al., 2003; Fragouli et al., 2017). A pesar de ello, esta temática no aparece entre los contenidos curriculares de la Educación Primaria española (Decreto 211/2022), y apenas está presente en nuestros planes de Secundaria (Decreto 83/2016). Sin embargo, sería especialmente interesante contemplarlo, ya que tiene un marcado carácter integrador al permitir abordar contenidos de distintas disciplinas partiendo de ese centro de interés.

Según Rodrigo (2019), en los talleres didácticos que se llevan a cabo en el Museo Geominero de Madrid, se ha observado con frecuencia que muchos adultos desconocen por completo el concepto de fósil, a pesar del gran interés que despierta en sus hijos e hijas más pequeños/as. Esta falta de familiaridad se debe a que los fósiles están ausentes en los planes de estudio generales, y solo aquellos/as estudiantes que continúen su formación académica hasta niveles universitarios, específicamente en disciplinas científicas muy específicas, llegarán a familiarizarse con dicho concepto.

Por otro lado, en España está cambiando significativamente en las últimas décadas la forma de abordar la ciencia escolar. Cada vez se valoran más el trabajo por proyectos y las estrategias de indagación, así como la incorporación cada vez mayor del método científico y de actividades experimentales en las aulas (Ceballos et al., 2019).

Todo esto contribuye a cerrar en parte la brecha existente entre lo que se enseña en el contexto escolar y los verdaderos intereses del alumnado. En el caso específico de los fósiles, parte del interés de los alumnos y alumnas proviene del cine y los medios de comunicación (Bercial et al., 2003), centrado especialmente en las criaturas del pasado que resultan más espectaculares

debido a su tamaño, apariencia monstruosa o supuesta peligrosidad, como los dinosaurios, sin importar si son o no las más abundantes en el área geográfica donde residen (Fragouli et al., 2017). Esta curiosidad se satisface en gran medida mediante visitas a museos y actividades educativas realizadas en ellos (Ceballos & Vílchez, 2017). Sin embargo, también se ve satisfecha a través de películas y recursos comerciales que no siempre son rigurosos y que pueden generar conceptos erróneos o distorsionados sobre los dinosaurios (Padian, 2000) o la paleontología en general (Gonçalves et al., 2016), lo que refuerza la idea de que estos temas también deberían abordarse con mayor profundidad en el ámbito escolar. De no ser así, existe el riesgo de que estos conceptos queden restringidos a los/as estudiantes universitarios/as y los/as pertenecientes a grupos de investigación o museos, permaneciendo conceptos erróneos en la mayor parte de la población, no especialista en estos temas. Se perdería así la visión integradora de la vida evolucionando e interaccionando con la Tierra y modificándose mutuamente y la concepción del fósil como herramienta básica para el conocimiento del pasado de nuestro planeta y de nuestra propia historia evolutiva (Pedrinaci, 2013).

Para remediar esto, cada vez son más las actividades que existen para aclarar las ideas preconcebidas del alumnado sobre los fósiles y a adquirir nuevos conceptos de paleontología (Calonge García & López Carrillo, 2005). Estas actividades también ofrecen la oportunidad de integrar otras áreas del conocimiento, como la Geología y la Biología, a través de la realización de talleres didácticos que pueden llevarse a cabo tanto en clases de Primaria como de Secundaria (Ceballos et al., 2019). No obstante, el objetivo de estas actividades no es simplemente apreciar la espectacularidad o rareza de las piezas, sino de abordar y corregir los errores que con frecuencia cometen los estudiantes en diferentes etapas educativas (Dove, 2006; Francek, 2013). Además, es importante aprovechar su potencial didáctico, ya que nos permiten relacionar conceptos que suelen plantear dificultades debido a su nivel de abstracción, como la evolución, el tiempo geológico y los procesos terrestres (Ceballos et al., 2019). Estas cuestiones no pueden estudiarse de forma aislada. Los conceptos de fósil y fosilización son más complejos de lo que parecen inicialmente para aquellos no familiarizados con ellos, e incluso estudiantes de

4º de Educación Secundaria encuentran dificultades para comprender el proceso de mineralización de la materia orgánica o la relación entre la formación de rocas y los fósiles que se encuentran en ellas (Loarces et al., 2019). Por lo tanto, es necesario comprenderlos en su contexto histórico, geológico y cronológico, haciendo referencia a cuestiones como la formación de estratos y los tipos de rocas, entre otros aspectos. Estos conceptos deben entenderse como herramientas que nos permiten descifrar la información del pasado contenida en los fósiles (Lillo, 1995; Gonçalves et al., 2016).

Actualmente, las actividades experimentales se consideran un buen método para tratar la paleontología en las aulas, ya que generalmente son una de las formas más apropiadas para el logro de aprendizajes científicos. El valor didáctico de las clases prácticas es amplio porque puede ilustrar determinados conocimientos, facilitar su aprendizaje, acercar a los alumnos y alumnas métodos y técnicas de trabajo científico, etc. (Bercial et al., 2003). A día de hoy, nadie duda de la importancia de la actividad manipulativa y de la experimentación en el proceso del conocimiento de la cultura científica. Además, las experiencias personales juegan un papel fundamental en la construcción de ideas y son ampliamente utilizadas por los docentes para completar el proceso de enseñanza (Sanmartí i Puig et al., 1999).

2.2. Dificultades y obstáculos epistemológicos en la adquisición de los conceptos paleontológicos

El estudio de los fósiles puede presentar varias dificultades para el alumnado debido a la naturaleza de los mismos y a algunos conceptos asociados. Existen diferentes marcos conceptuales para definir los fósiles, que van desde la idea de que son restos duros o huesos, hasta considerarlos como esqueletos sin enterrar o esqueletos enterrados que se transforman con el tiempo en estructuras duras o petrificadas (Lillo, 1995). En muchas ocasiones, se pasan por alto las transformaciones mineralógicas que experimenta el material orgánico en el proceso de fosilización.

Para comprender la persistencia de estas concepciones, es necesario analizar los obstáculos epistemológicos que han surgido a lo largo de la historia de la Geología en relación con los conceptos investigados. Es por ello que el estudio comparativo de la evolución de los conceptos paleontológicos no puede separarse del origen de las rocas sedimentarias y los procesos de diagénesis. Este análisis revela que la comprensión de los conceptos de fósil y fosilización ha tenido lugar hace relativamente poco en la historia de la ciencia.

En su estudio, Pedrinaci (1993) examina de manera comparativa la evolución de los conceptos relacionados con el origen de las rocas y la interpretación de los fósiles. En este análisis, se destaca claramente la idea de que el desarrollo del pensamiento tiene un contexto histórico y circunstancial: cada pensador es fruto de su tiempo (de las ideas de su época) y de su circunstancia.

La relación entre las teorías sobre el origen de las rocas y el origen de los fósiles es clara y evidente, ya que, hasta principios del siglo XVIII, el término "fósil" se refería a cualquier objeto o material notable que se excavara de la tierra o se encontrara en su superficie (Rudwick, 1976). Este término englobaba lo que ahora conocemos como fósiles, así como cristales naturales, menas minerales y rocas útiles.

Los obstáculos epistemológicos en la concepción de Bachelard (1990) están vinculados a las teorías del mundo utilizadas en diferentes épocas. Basándonos en la breve síntesis histórica mencionada, podemos esbozarlos de la siguiente manera:

1. Las concepciones fijistas han transmitido una visión estática e inmutable de la Tierra, lo cual ha sido el principal obstáculo para una interpretación correcta del origen de las rocas. De manera similar, las concepciones creacionistas han dificultado la comprensión del significado de los fósiles como productos de la evolución orgánica.
2. La persistencia de interpretar los hechos naturales a través de la cronología bíblica, asociada a las teorías creacionistas, ha dado lugar a visiones tanto creacionistas como catastrofistas.
3. En los siglos XVI y XVII, las teorías animistas o vitalistas de algunos pensadores griegos ejercieron influencia, y su difusión más allá de ese

periodo se debe al éxito de la obra de Athanasius Kircheri, "Mundus subterraneus" (Amsterdam, 1665).

Además de los obstáculos epistemológicos mencionados, también se deben considerar aquellos propios de la escala de observación y estudio que caracteriza la metodología de las Ciencias Geológicas, tanto en el estudio de los procesos geológicos en general y el estudio de la fosilización en particular: se trata de fenómenos o procesos que no pueden ser observados ni ser reproducidos en el laboratorio en tiempo real. El estudio de los fósiles a menudo implica la interpretación e inferencia basada en evidencias limitadas, ya que estos son restos fragmentarios de organismos del pasado, y los/as estudiantes deben aprender a realizar hipótesis y conclusiones sobre su apariencia, comportamiento y entorno original (Lillo, 1995).

Por otro lado, la escala de tiempo involucrada en los procesos de fosilización es una cuestión que aún no se ha resuelto de manera general para todos los procesos. En este sentido, comprender la antigüedad de los fósiles y su contexto geológico puede resultar una tarea abrumadora para el alumnado, debido a la vasta escala de tiempo geológico y la conexión entre los fósiles y los eventos históricos (Lillo, 1995). Así pues, está cada vez más claro que el factor tiempo es concebido como el obstáculo más importante de cara a la intervención didáctica.

Otra dificultad que se puede percibir en las aulas es el acceso limitado a los fósiles, ya que estos pueden ser escasos, no accesibles o delicados. Además, los fósiles son objetos muy antiguos y frágiles; pueden dañarse fácilmente si no se manejan correctamente, y algunos son muy pequeños o están muy bien conservados, lo que implica limitaciones en su manipulación y dificulta su análisis detallado por parte del alumnado. Todo ello conlleva que para los/as estudiantes sea complicado tener una experiencia práctica y directa con los fósiles, lo que podría dificultar la comprensión de su apariencia y características reales (Saorin et al., 2016). No obstante, cada vez es más habitual utilizar una réplica física de los mismos que facilita de manera considerable el trabajo a los investigadores o museos (Arribas, 2004). Una réplica es una reproducción del original de un

objeto, con la máxima exactitud posible, pudiendo ser de distinto material y diferente escala (Gorbea, 1988).

Por último, también es interesante comentar que el estudio de los fósiles implica también adquirir un vocabulario técnico específico, que incluye términos relacionados con la paleontología, anatomía y taxonomía. Este aspecto puede suponer un desafío para el alumnado, ya que deben familiarizarse con un conjunto de palabras especializadas para comprender plenamente los conceptos asociados a los fósiles y a la paleontología en general.

Todo lo anterior hace que debemos ser cautos a la hora de considerar la enseñanza de los conceptos fósil y fosilización por las repercusiones que tiene sobre la intervención educativa.

Para superar estas dificultades, es importante utilizar una variedad de recursos educativos, como réplicas de fósiles, imágenes, videos y modelos tridimensionales, que permitan al alumnado explorar y comprender los fósiles de manera más accesible. Además, la enseñanza basada en proyectos, el ABM (Bercial et al., 2003) y la participación en excursiones a museos de historia natural o sitios paleontológicos pueden brindar a los/as estudiantes una experiencia más enriquecedora y práctica en el estudio de los fósiles.

2.3. Aportación de los modelos mentales en las clases sobre fósiles

Como se ha comentado antes, y según Bercial et al. (2003), y muchos más autores, las actividades experimentales se consideran un buen método para tratar la paleontología en las aulas, ya que generalmente son una de las formas más apropiadas para el logro de aprendizajes científicos. No obstante, esta metodología no es la única que aporta beneficios a la hora de tratar esta temática en el contexto escolar; aunque sí sería interesante combinarla con otras, como el aprendizaje basado en modelos, para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Loarces et al., 2019).

Un modelo mental se refiere a una representación interna y cognitiva de situaciones, hechos, objetos y conceptos, que corresponde de manera análoga al estado de las cosas que se están representando, sin importar cuál sea este

estado (Johnson-Laird, 1983). Por lo general, este modelo mental es coherente y resistente al cambio, incluso si es incompleto o contradice los conocimientos científicos escolares (Reinfried & Tempelmann, 2014). Según Moreira et al., (2002) evoluciona de forma natural a través de la interacción con el entorno, y se modifica hasta que adquiere una funcionalidad satisfactoria. En este proceso de modificación es donde la educación formal debe intervenir para fomentar un cambio en el modelo mental, que sea cada vez más congruente con lo aceptado científicamente. No obstante, esta metodología presenta una serie de dificultades que hay que afrontar; por un lado, el significativo problema de estudiar con claridad y validez qué modelo mental posee el alumnado sobre un determinado hecho, situación, fenómeno u objeto, y por otro, determinar qué estrategias de aprendizaje son las más favorables para provocar el cambio satisfactorio de modelo.

En relación con la primera dificultad mencionada, Rodríguez (1997) destaca la importancia de adoptar un enfoque más interpretativo o cualitativo en las investigaciones, así como utilizar diversos instrumentos de recopilación de datos para detectar dichos modelos. Por otro lado, Márquez & Bach i Plaza, (2007) consideran que estos instrumentos deben facilitar algún sistema de representación, como el lenguaje verbal-oral o escrito, visual, matemático o gestual.

En cuanto a la problemática de determinar los parámetros que permitan definir el modelo y el consiguiente estudio del cambio después de sumergir a los estudiantes en un proceso de enseñanza y aprendizaje, es importante analizar el significado epistemológico del hecho, situación, fenómeno u objeto a estudiar (Loarces et al., 2019). Específicamente en las ciencias geológicas, la unidad elemental de estudio es el suceso geológico, que se define mediante tres parámetros: los procesos geológicos que intervienen, el espacio o ambiente geológico en el que se desarrolla y el tiempo geológico (Lillo & Redonet, 1985). La evidencia de la existencia de un suceso geológico y sus características queda registrada en los materiales terrestres, como minerales, rocas y fósiles, de los cuales podemos obtener datos para interpretar la historia y el funcionamiento del planeta Tierra.

El análisis de la evolución de los modelos mentales mediante las secuencias de enseñanza y aprendizaje nos proporciona información sobre las dificultades que enfrentan los estudiantes, lo cual nos permite desarrollar propuestas para mejorar la educación. De esta manera, podemos acercarnos al concepto de modelo conceptual y modelización de manera similar a como se aborda en la investigación científica (Moreira et al., 2002).

Dentro del campo de la Didáctica, la conversación y la interacción en el aula se destacan como elementos fundamentales en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En este sentido, las preguntas planteadas por el docente desempeñan un papel crucial en la gestión del diálogo en el aula, así como en la promoción de la participación y la implicación de los estudiantes (Márquez & Roca, 2006).

3. OBJETIVOS

Actualmente, cada vez van surgiendo más metodologías que pretenden sustituir las clases más teóricas y tradicionales, por clases prácticas y basadas en el aprendizaje activo. Es innumerable la literatura que existe con los beneficios de estas metodologías, donde el alumnado se muestra más participativo y adquiere un aprendizaje más significativo; una de ellas es el ABM, que se encuentra en auge en muchas aulas y se aplica cada vez más en el estudio de la paleontología, tanto en la Educación Primaria como en Secundaria.

Este Trabajo de Fin de Máster pretende comprobar si la combinación de una actividad más práctica y manipulativa de objetos tangibles, tanto fósiles como no fósiles, con actividades basadas en el Aprendizaje Basado en Modelos, proporciona una mejora significativa en el conocimiento del alumnado sobre la paleontología, y si con estas metodologías se consiguen corregir algunos de los errores más comunes en el alumnado, provocados en gran parte por sus conocimientos previos y modelos mentales formados a partir de información proveniente del cine y los medios de comunicación.

La cuestión es ver si esta combinación potencia la motivación de los alumnos y alumnas, promueve la atención sostenida y consigue que la mayoría de la clase comprenda el concepto de fósil como resto orgánico de un ser vivo mineralizado que forma parte de una roca sedimentaria, además de saber diferenciar un elemento fósil de uno no fósil, o conseguir construir la historia de un ser del pasado antes de convertirse en fósil. Ello podría resultar en el asentamiento de una metodología específica para el tratamiento de la paleontología en esta etapa de la ESO, y que podría ser ampliamente beneficiosa tanto para el alumnado como para el profesorado.

Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

-Analizar el currículo de Biología y Geología perteneciente al nivel de 4º de Educación Secundaria Obligatoria con el fin de establecer cómo se aborda en las aulas la paleontología y los conceptos-base que debe tener el alumnado sobre este tema.

-Aplicar una metodología más práctica, como es la manipulación de objetos tangibles, a un grupo de 4º ESO para comprobar si el alumnado presenta una diferencia significativa en el aprendizaje, motivación e integración del conocimiento a corto plazo, con respecto al grupo de control.

- Aplicar una metodología activa, como es el aprendizaje basado en modelos, a un grupo de 4º ESO para comprobar si el alumnado presenta una diferencia significativa en el aprendizaje, motivación e integración del conocimiento a corto plazo, con respecto al grupo de control.

4. PLAN DE INTERVENCIÓN

4.1. Contextualización

4.1.1. Datos generales del centro

El centro educativo en el que se ha puesto en práctica la propuesta desarrollada en este Trabajo de Fin de Máster es el Instituto de Enseñanza Secundaria San Benito, de titularidad pública y situado en el municipio de San Cristóbal de La Laguna. Además, este también fue declarado Instituto de Bachillerato.

Este centro limita al Norte con otro Centro Educativo, dedicado anteriormente a enseñanzas de Formación Profesional, posteriormente Instituto de Educación Secundaria (IES La Laguna) y desde el curso 2016-17 Centro Integrado de Formación Profesional; al Sur, con la Carretera General de los Rodeos; al Este, con la Calle Leopoldo de la Rosa Olivera, hacia donde dan todos sus accesos; y al Oeste, con las traseras de casas familiares y solares rústicos. El edificio ocupa un solar de 10.240 m², repartidos entre edificaciones, canchas de deportes, franjas ajardinadas, jardín y zonas asfaltadas para rodadura de vehículos y aparcamientos.

Tal y como se puede observar a través de una consulta en la propia página web del centro habilitada bajo el dominio <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/edublog/iessanbenito/>, y como se recoge en su PEC, el IES San Benito es un centro público de Educación Secundaria, Obligatoria y Bachillerato, laico, aconfesional y abierto a su entorno físico y social que, recogiendo como razón vital primera de toda sociedad democrática la búsqueda de la felicidad y la dignidad humanas, pretende mediante la colaboración de todos los estamentos que forman la comunidad escolar, la formación plena (humana, social y académica) del alumnado, mediante la construcción activa de la ciudadanía global, de una educación pública de calidad, compensadora de las desigualdades sociales, así como la transmisión de conocimientos académicos y competencias clave, de bienes culturales y de valores básicos como responsabilidad, honestidad, respeto y solidaridad.

Este centro cuenta con varios proyectos y programas, como es el Programa esTEla de transición educativa, el Programa AICLE / CLIL (Content and Language Integrated Learning), el Programa Erasmus+ de la Unión Europea, o el Proyecto de movilidad STARS (Sustainable Travel Accreditation and Recognition for Schools). Además, también es partícipe de la Red Canaria de Centros Educativos para la Innovación y Calidad del Aprendizaje Sostenible (RED CANARIA-InnovAS).

En el IES San Benito están especialmente sensibilizados con los Derechos de la Infancia, lo que le ha llevado a obtener el distintivo de centro referente en Derechos de la Infancia y Ciudadanía Global de UNICEF. Asimismo, tienen el «Sello Vida Saludable» del Ministerio de Educación (Gobierno de España), debido a su compromiso con el bienestar y la salud de la población infantil y juvenil.

Por otro lado, con respecto a los niveles educativos impartidos en el centro, cabe destacar su oferta de enseñanza, que va desde estudios de enseñanza obligatoria, en su etapa de la ESO, el Ciclo Formativo de Grado Básico de Informática y Telecomunicaciones y hasta el Bachillerato, en la modalidad de Ciencias, General y Humanidades y Ciencias Sociales.

Finalmente, y centrandó nuestra atención en la Educación Secundaria Obligatoria, ya que este es el nivel en el que se imparte la propuesta, hay que decir que, como todos sabemos, esta etapa educativa es muy importante en el proceso formativo de todas las personas, por lo que desde un punto de vista psicológico, cada experiencia en esta etapa representa una importante enseñanza y aporte a la madurez psicosocial del adolescente. Por ello, la metodología destacada del centro se basa en el aprendizaje colaborativo, la participación activa del alumnado, una visión de estándares y valores, y el fomento de la ciudadanía comprometida.

4.1.2. Área de influencia

El IES San Benito es un centro receptor de alumnado de núcleos poblacionales distintos, pero pertenecientes la mayor parte al mismo municipio,

aunque también hay alumnos del El Rosario y Tacoronte, e incluso de El Sauzal por la buena conectividad del transporte público con ambas zonas.

Durante los años de existencia del IES La Laguna (ahora centro integrado de Formación Profesional), el alumnado procedente del CEIP San Benito, y en gran parte, el alumnado procedente de la barriada Padre Anchieta, estaba adscrito a éste. En el momento en que se suprimieron las enseñanzas de la ESO y Bachillerato en el IES La Laguna, gran parte del alumnado de este centro pasó a formar parte del IES San Benito produciéndose un incremento de 150 alumnos/as aproximadamente.

También es de destacar que desde el curso 2013-14 se implantaron las enseñanzas de FPB en la rama de Informática con lo que la procedencia de este alumnado puede ser de cualquier parte del municipio.

4.1.3. Datos del entorno social y económico

El IES San Benito está situado al extremo Oeste del casco urbano de La Laguna en el barrio del mismo nombre, en la calle Leopoldo de la Rosa Olivera y próximo al Aeropuerto de Los Rodeos.

El entorno urbano del instituto en cuestión es el correspondiente a un distrito de clase media y, en parte, media-baja, por lo que la población escolar a la que se atiende es de índole muy variada, tanto social como económicamente.

4.1.4. Infraestructuras y dotaciones materiales

Este centro consta de dos edificios: el principal, donde se encuentra la zona de administración y las aulas de la ESO, Bachillerato y FPB, y un segundo edificio que alberga el gimnasio y las dependencias de mantenimiento. A destacar el amplio jardín en el que se encuentra una extensa muestra de la vegetación de la isla, y el huerto.

El edificio principal, concebido para 900 alumnos, responde a un tipo de edificación estándar para todo el territorio español: pasillos estrechos, zonas

comunes interiores angostas, salón de actos insuficiente y mal diseñado, laboratorios pequeños, etc. Este consta de planta baja y dos pisos. Posteriormente, cuando fue implantado en este Centro el Bachillerato Experimental, se le adosó en el fondo norte un anexo, con una planta baja destinada a talleres, y un piso dividido en dos aulas. En la planta baja se encuentra la Biblioteca, Salón de Actos, Taller de Fotografía, Taller de Artesanía, dependencias administrativas, laboratorios, tres departamentos, cafetería y antigua vivienda del conserje, hoy reconvertida en sala de visitas, aula de convivencia y aula para el periódico escolar. La primera y segunda planta está formada por aulas y por departamentos. Muchas de aquellas son específicas - Dibujo, Informática, Inglés, Música y Geografía e Historia-.

Contiguo al edificio principal en su extremo norte, y perpendicular al mismo, se construyó un gimnasio, al que se le adosó en tiempo posterior un almacén-taller para el servicio de mantenimiento. Existe una pequeña caseta situada en el ángulo suroeste del solar, destinada al material para el huerto escolar y para el mantenimiento de los jardines.

Las pistas polideportivas al aire libre están ubicadas justamente al lado de la fachada oeste del edificio; es decir, pegadas a las aulas. Se trata de tres espacios polideportivos: el más próximo al gimnasio (Fútbol-Sala), el siguiente (Baloncesto) y un tercer espacio más al Oeste que originariamente no era un espacio deportivo sino un patio.

Es de destacar que en el plan por el que se adoptó el sistema de aulas-materia, todas las aulas tienen nombres de personajes destacados de la materia o ámbito correspondiente.

4.1.5. Características de las familias

En el Centro convergen alumnos de familias muy diversas: muchas de ellas con un nivel socioeconómico bajo y otras familias pertenecen a un contexto socioeconómico medio-alto que disponen de una oferta cultural y educativa determinada por su origen, aparte de la que reciben en el instituto. Es habitual, así, que estos alumnos dispongan de la posibilidad de ampliar su formación por

la tarde en escuelas de música, academias donde reciben clases de refuerzo o en federaciones deportivas. Existe un tercer tipo de alumnado que proviene de casas de acogida y suelen ser los alumnos/as que presentan más dificultades académicas.

Destaca el hecho también de que, en los últimos cursos, especialmente, el centro ha recibido la escolarización de un número importante de alumnado inmigrante procedente del África Subsahariana y Magrebí, con un conocimiento de la lengua española muy bajo y que proviene en su mayoría de los centros-recursos para la atención y acogida de personas migrantes que hay en el municipio. Recientemente, en el IES se ha acogido también en la ESO la escolarización de alumnado refugiado de origen ucraniano. En todo caso, toda esta convivencia en la diversidad provoca un enriquecimiento en el alumnado en general, ya que conviven entre ellos múltiples formas culturales de entender el mundo.

4.1.6. Características generales del alumnado

De lo anterior se deduce que la característica que mejor define al alumnado del centro es su heterogeneidad, que viene dada en gran parte por las diferencias de los contextos de procedencia que comentamos en el apartado anterior. El alumnado que cursa sus estudios en la ESO procede casi en su totalidad de los Centros de Primaria del distrito (CEIPs: Camino de la Villa, Santa Rosa de Lima y San Benito). Por otra parte, los alumnos de Bachillerato provienen del mismo instituto y de centros concertados o privados.

El centro cuenta en el curso 2022-2023 con un total de 501 alumnos y alumnas, divididos (en el curso indicado) en cuatro grupos de 1º de la ESO, tres grupos de 2º de la ESO, tres grupos de 3º de la ESO, tres grupos de 4º de la ESO, cinco grupos de 1º de bachillerato, tres grupos de 2º de bachillerato y dos grupos de FP Básica de Informática y Telecomunicaciones. A esos grupos se le añaden los Programas de Mejora del Aprendizaje y del Rendimiento (PMAR) en 2º ESO, y este año ha entrado en vigor el Programa de Diversificación Curricular en 3º ESO (que también se aplicará en 4º ESO el próximo año), así como el Programa de Apoyo Idiográfico para alumnado no hispanohablante. La

característica principal de este alumnado es su heterogeneidad por lo que repercute en un rendimiento escolar medio, pero con unas tasas de absentismo y abandono escolar más bien bajas.

El rendimiento escolar del alumnado es medio-alto, en comparación con los informes sobre resultados académicos de los últimos años en la provincia, aunque varía mucho en función del curso escolar. Algunos programas de atención inclusiva y personalizada del alumnado, en docencia compartida (por ejemplo, el Programa esTEIa), han supuesto una evidente mejora del rendimiento académico que ya se empieza a notar desde los cursos más bajos de la ESO. El absentismo y el abandono escolar en la ESO es bajo, dándose el mayor número de casos de alumnado en Plan de Intervención por parte de los Servicios Sociales en primer ciclo de la ESO según datos que se desprenden de la Memoria Final del Centro del curso pasado.

4.1.7. Características generales del profesorado

El número de profesores y profesoras que conformaron el claustro en el curso 2021-2022 son 59, de los cuales aproximadamente el 40% tiene destino definitivo en el IES. En el claustro hay una diversidad metodológica que redundará en el beneficio del alumnado, con un alto número de docentes proactivos/as y con gran nivel de colaboración en la vida del centro en todos sus aspectos. Además, el centro cada año acoge a varios/as alumnos/as de prácticas en cualquiera de sus ámbitos, por lo que el alumnado ya está acostumbrado a ver caras nuevas año tras año, y a tratar con “profes” muy jóvenes.

Con respecto al departamento de Biología y Geología (ByG), está formado por 4 docentes: uno para la asignatura de ByG en 1º y 2º Bach, otra para ámbito científico de 3º de diversificación y optativas de 1º y 2º Bach, otra para ByG en 3º ESO y FPBásica, y otra para ByG en 1º y 4º ESO. Son profesores y profesoras muy abiertos/as a reinventarse, donde cada vez utilizan más las TIC en sus actividades, apenas utilizan un libro de texto, sino que traen su propio material para impartir las clases, y siempre promueven el espíritu crítico y la motivación en su alumnado.

4.2. Vinculación con el currículo

Las actividades propuestas en este TFM se enmarcan en el *BLOQUE DE APRENDIZAJE II. La dinámica de la Tierra* para el nivel de 4º ESO, por lo tanto, y para este curso académico, de la LOMCE. El currículo de la asignatura de Biología y Geología de esta etapa es el establecido en el Decreto 83/2016, de 4 de julio, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Canarias (BOC n.º 136, de 15 de julio). El criterio de evaluación mejor relacionado con el contenido impartido es el siguiente:

Criterio de evaluación 5. Identifica, recopila y contrasta información en diferentes fuentes mediante procesos de investigación dirigidos a reconstruir y datar algunos de los sucesos más notables ocurridos a lo largo de la historia de nuestro planeta, asociándolos con su situación actual, y a resolver problemas simples de datación relativa aplicando los procedimientos y principios básicos de la Geología, con el fin de reconocer a la Tierra como un planeta cambiante. Con este criterio se pretende comprobar si el alumnado relaciona los principales acontecimientos geológicos, climáticos y biológicos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra con las principales unidades del tiempo geológico (eones, eras, periodos, épocas y edades). Se verificará que hace uso de los fósiles guías y de los modelos temporales a escala, interpreta mapas topográficos, realiza perfiles topográficos de una zona y aplica los principios básicos de la datación relativa (superposición de estratos, superposición de procesos y correlación) así como si utiliza otras fuentes de información, apoyándose en las TIC, para describir los hechos acontecidos y reconstruir algunos cambios notables que la Tierra ha sufrido desde su origen.

Los **estándares de aprendizaje evaluables** en esta propuesta de intervención, relacionados con este Criterio de Evaluación son los siguientes:

20. Identifica y describe hechos que muestren a la Tierra como un planeta cambiante, relacionándolos con los fenómenos que suceden en la actualidad.

21. Reconstruye algunos cambios notables en la Tierra, mediante la utilización de modelos temporales a escala y reconociendo las unidades temporales en la historia geológica.

24. Discrimina los principales acontecimientos geológicos, climáticos y biológicos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra, reconociendo algunos animales y plantas características de cada era.

25. Relaciona alguno de los fósiles guía más característico con su era geológica

Esta propuesta, y las actividades diseñadas que se describirán en el siguiente apartado, contribuyen al desarrollo y adquisición de las siguientes **competencias:**

- CMCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
- CD: Competencia digital.
- AA: Aprender a aprender.
- SIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.

Los puntos clave o conocimientos base que se pretende que el alumnado adquiera con estas actividades son los siguientes:

- Reconstruir la historia de un ser vivo antes de convertirse en fósil
- Diferenciar entre fósil guía y fósil viviente
- Reconocer a la Tierra como un planeta cambiante
- Saber cuáles son las características que presenta un fósil
- Entender cómo se puede producir el proceso de fosilización

4.3. Secuenciación de actividades

Con respecto a los aspectos fundamentales que se han tenido que programar previos a la puesta en práctica de la propuesta de intervención de este trabajo, es importante comentar varias tareas:

- Búsqueda y elección de los modelos a trabajar durante la actividad.

- Obtención del material con el que el alumnado del grupo experimental debe trabajar y manipular (fósiles del centro, objetos no fósiles como rocas, frutos, conchas, etc.).

- Preparación y montaje del material didáctico (Power Point) como soporte para trabajar el temario en clase.

- Confeción de una ficha que el alumnado debe completar durante la actividad.

- Confeción de 2 cuestionarios de contenido y 2 encuestas de satisfacción que el alumnado debe rellenar para la posterior obtención de resultados.

Para el desarrollo de este trabajo, una de las profesoras de Biología y Geología y yo hemos impartido las sesiones en dos grupos del nivel de Educación Secundaria Obligatoria del centro: 4ºA y 4ºB. Esto es debido a que, aunque el centro consta de 3 grupos de este nivel, estos se dividen en 3 modalidades u optativas distintas: científica, tecnológica y humanística. Una gran parte de 4º B y 4º C pertenecen a las dos últimas modalidades, por lo que únicamente 4º A y una pequeña parte de 4º B tienen Biología y Geología como asignatura. Cabe destacar que la modalidad de ciencias no se imparte en una única clase, ya que el alumnado sería excesivo para un aula, por lo que el grupo B estaba constituido por 9 alumnas, mientras que el grupo A estaba compuesto por 25 alumnos/as. Como medida propia del diseño experimental y con el fin de brindar mayor fidelidad al seguimiento del método científico, se ha decidido tomar uno de los grupos como grupo control (sesiones meramente teóricas y expositivas), recibiendo por tanto únicamente el otro grupo el tratamiento establecido para este trabajo (la utilización de la modelización y la manipulación de objetos tangibles para impartir contenido sobre paleontología).

A modo de contextualización, este bloque de actividades se encuentra dentro de la Unidad Didáctica 6 de la Programación Didáctica (PD) de 4º ESO del centro; esta tiene el nombre de “*La historia de nuestro planeta*”.

Antes de impartir estas actividades, y según la PD, se trataron en clase los siguientes temas:

- El origen de la Tierra
- La Tierra, un planeta cambiante
- El tiempo geológico: ideas históricas sobre la edad de la Tierra
- Métodos de datación
- Datación relativa
- Datación absoluta

Después de ello, se dedicaron 3 sesiones a trabajar los fósiles y la paleontología en general, con actividades que se desarrollarán en párrafos siguientes. Este bloque se impartió en el 3r trimestre.

Finalmente, la temática que sigue a las 3 sesiones propuestas para este Trabajo de Fin de Máster es la siguiente:

- Historia geológica de la Tierra
- Precámbrico
- Fanerozoico
 - Paleozoico
 - Mesozoico
 - Cenozoico

Una vez contextualizado el bloque de actividades de esta propuesta de intervención, denominado “¿Qué hacemos con estos huesos?”, cabe mencionar que este empieza con una primera actividad, que se trata de una charla de la Dra. Esther Martín-González, conservadora de Paleontología y Geología del Museo de Naturaleza y Arqueología (MUNA). Esta se impartió a los 3 grupos de 4º ESO.

1ª sesión – ACTIVIDAD: charla sobre paleontología

Esta primera sesión se llevó a cabo en la sala de actos y duró alrededor de 45 minutos. La Dra. Esther visitó el centro para dar una charla sobre paleontología, donde primeramente se presentó como Bióloga y Paleontóloga, además de divulgadora tanto en el MUNA como fuera de él. También mencionó su colaboración con el Área de Paleontología de la Universidad de La Laguna, sus trabajos de conservación del patrimonio geológico y su participación en varios proyectos de investigación, mayoritariamente de índole insular sobre temas relacionados con su especialidad de investigación y museística.

La charla continuó dándole al alumnado conceptos básicos sobre paleontología, tales como qué es un fósil, qué es el proceso de fosilización, etc. Además, profundizó bastante en cuál es su trabajo en el museo; enseñó videos e imágenes sobre sus salidas de campo, también de sus trabajos en el laboratorio, y sobre todo en el museo. Finalmente, la charla acabó invitando al alumnado a visitar el MUNA en un horario específico donde la entrada es gratuita, y animándole a que investiguen y busquen más información sobre los fósiles y la paleontología en general.

El objetivo principal de esta actividad era despertar el interés del alumnado. Con esta charla se pretendía que los/as alumnos/as tuvieran una visión más amplia sobre la paleontología y pudieran ver que no es algo que solo se imparte o se encuentra en las aulas; el fin era que entendieran que los/as paleontólogos/as tienen un papel crucial en la reconstrucción de la historia de la Tierra. De esta manera, se quería crear expectativas en el alumnado para que se mostrara más motivado en las siguientes sesiones.

Después de esta, la 2ª actividad que se impartió fue teórica y meramente expositiva, impartida tanto en el grupo de control (4º ESO A) como en el grupo experimental (4º ESO B).

2ª sesión - ACTIVIDAD: clase teórica sobre los fósiles

Esta actividad fue realizada aprovechando la visita de la Dra. Esther, de manera que pude hilar la charla con el bloque de actividades que quería impartir.

La clase teórica sobre fósiles impartida duró 1 sesión, tanto para el grupo A como para el B, durante la cual se utilizó como soporte un Genially (Anexo 1). que monté con contenido que la profesora de los dos grupos me ayudó a seleccionar. En realidad, esta clase tenía el objetivo de contextualizar al alumnado y profundizar un poco más en el mundo de la paleontología, para que aprendieran conceptos básicos como qué es un fósil, diferencia entre fósil corpóreo y traza fósil, qué es un fósil guía o un fósil viviente, o cuáles son los tipos de fosilización, entre otras cosas. Estos conceptos son los que el alumnado posteriormente necesitaría para poder realizar la actividad de la siguiente sesión, donde pondrían en práctica lo tratado en esta clase teórica.

Después de la segunda sesión, con el grupo experimental se desarrollaron dos actividades más prácticas y activas: por un lado, la manipulación de objetos tangibles para clasificar varios elementos en fósiles o no fósiles; y por otro lado, el aprendizaje basado en modelos, donde el alumnado debía expresar su modelo mental sobre qué vida habrían tenido distintos seres del pasado antes de convertirse en fósiles, con el fin de ir corrigiendo, modelando y perfeccionando sus modelos para convertirse en teorías más sólidas y consiguieran un conocimiento integrado sobre el tema. Estas actividades se encuentran enmarcadas dentro de las sesiones lectivas que serán descritas a continuación:

GRUPO EXPERIMENTAL

3ª sesión - ACTIVIDAD: Objetos fósiles y no fósiles

Durante esta sesión, el objetivo era acercar lo máximo posible al alumnado a lo que vimos en la clase teórica anterior, de manera que pudiera poner en práctica lo expuesto y demostrar el conocimiento adquirido sobre el tema de los fósiles. Esta actividad consistía en colocar diferentes objetos distribuidos por toda la clase (sobre diferentes pupitres), y que el alumnado fuera capaz de clasificar estos objetos en no fósiles o en fósiles; estos últimos debían ser clasificados además como trazas fósiles o fósiles corpóreos. Para ello, las alumnas debían formar grupos de 2-3 personas, e ir moviéndose por la clase para poder manipular los objetos, de manera que los resultados debían apuntarlos en una ficha que les entregué (Anexo 2). Los objetos en cuestión se

muestran en la Figura 3. Cabe mencionar que la mayoría de los fósiles eran réplicas de las que disponía el centro, y no fósiles originales.



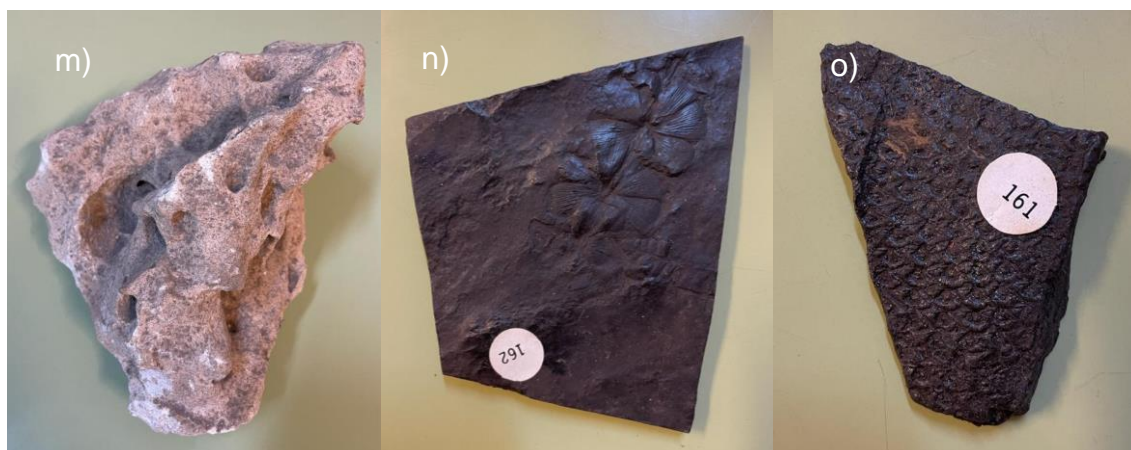


Figura 3. Objetos con los que se trabajó en la actividad 3. a) exoesqueleto de un erizo; b) distintos tipos de conchas; c) diente fosilizado de megalodón; d) dentadura fosilizada de Homo Sapiens Sapiens; e) rastro de una cola de trilobites fosilizado; f) fósil de un trilobites; g) frutos que trajo la profesora de ByG de Teruel; h) nidos de avispa fosilizados de Lanzarote; i) nido de ave; j) fósil de una libélula; k) fósil de un ammonites; l) roca; m) otra roca; n) planta con flor fosilizada; o) tronco fosilizado.

En un primer momento, el alumnado debía intentar resolver la actividad sin mi ayuda ni la de su profesora, ya que lo que se pretendía en esta actividad era que pensarán y debatieran entre ellas qué podía ser cada objeto y por qué podía ser un fósil o no. Cuando ya prácticamente tenían la ficha hecha, la profesora y yo les dimos algunas indicaciones, ya que había objetos que ellas, por su forma o aspecto, no lograban adivinar qué era (como en el caso de los frutos que trajo la profesora de Teruel, o el rastro que dejaba la cola del trilobites fosilizada).

Una vez terminada y completada la ficha, las alumnas tuvieron aproximadamente 15 minutos para poner en común los resultados y que ellas debatieran o justificaran el porqué de sus respuestas, todo ello con el fin de ver si habían entendido qué era un fósil y qué no, y cómo estos se podían clasificar. A medida que cada grupo iba exponiendo sus ideas y debatiendo con otros grupos, las profesoras íbamos evaluando y corrigiendo para que conjuntamente encontráramos la respuesta correcta y las alumnas tuvieran una idea sólida sobre el contenido impartido, que dos semanas después deberían plasmar en un test de conocimientos.

A pesar de lo “movida” y participativa que fue la clase, se respiraba un clima agradable, no hubo dificultades ni a la hora de transmitir al alumnado las instrucciones de la actividad, ni a la hora de que este expresara verbalmente sus dudas y sus modelos, por lo que la comunicación fue muy buena y ordenada.

Dicho esto, cabe mencionar que la base de esta actividad es la metodología práctica de aprendizaje en la formación, que consiste en organizar pequeños equipos de aprendizaje activo, para que el alumnado trabaje y desarrolle la materia mediante material manipulativo, dejando a un lado los libros de texto.

4ª sesión – ACTIVIDAD: Utilización de un modelo para reconstruir la historia de tres fósiles

La cuarta actividad consistía en escoger 3 animales fósiles que ya el alumnado había visto en la actividad anterior, y reconstruir su historia a partir de algunas preguntas que se les iba haciendo para guiarles. Los animales que escogimos fueron el ammonites, el trilobites y la libélula. A partir de las siguientes preguntas: “¿dónde creéis que vivía este animal?, ¿de qué se alimentaba?, ¿sería depredador, o también presa de otros animales?, ¿cómo respiraba?, ¿cómo murió?, ¿qué pasó después de su muerte?”, las alumnas debían ir construyendo un modelo mental sobre cómo podrían haber vivido esos 3 animales hace millones de años; el fin de la actividad era que utilizaran sus conocimientos previos, junto con la información que se les dio en las anteriores actividades, para construir su modelo, ya que la libélula sí la conocían, pero el trilobites y el ammonites no.

Después de unos 10-15 minutos, fueron participando y proponiendo sus respuestas, hasta que conjuntamente llegamos a concluir y construir la historia de estos animales y su posible proceso de fosilización. Al igual que en las dos actividades anteriores, la profesora y yo íbamos comentando y corrigiendo algunos puntos o mejoras de sus propuestas, con el fin de que tuvieran lugar las 4 etapas del aprendizaje basado en modelos: elaboración (mental), expresión (según diferentes modos de representación, en este caso verbal), comprobación (mental en nuestro caso) y evaluación del modelo. Además, también se buscaba

promover en las alumnas el aprendizaje activo, el pensamiento crítico y la comprensión profunda de los conceptos, todo ello mediante el ABM.

Así pues, el objetivo principal de esta actividad era que el alumnado entendiera que el fósil, antes de morir y quedar preservado en la roca, fue un animal vivo que respiraba y se alimentaba. Para ello, debían tener un modelo mental con concepciones previas, que a medida que se desarrollaba la actividad, y con la información que se les proporcionó en las actividades anteriores, debían ir modulando y cambiando, para que ese modelo mental que ellas tenían fuera un modelo real y aprobado científicamente; en eso consiste el ABM.

Esta actividad está inspirada en la colección de propuestas didácticas de la página web del proyecto Earthlearningidea (<https://www.earthlearningidea.com/>) (Anexo 3).

Después de estas 4 sesiones, estaba programado, según mi propuesta de intervención, realizar una 5ª sesión con el grupo experimental, con el objetivo de tener más evidencias sobre el ABM y obtener más resultados para el TFM. No obstante, la actividad no se pudo realizar debido a que el día que tocaba impartir esta última sesión en el Grupo B, éste tuvo una salida fuera del centro, y como esa clase ya iba atrasada en cuanto a temario, la profesora de ByG decidió no realizarla. Aún así, a continuación se muestra la 5ª sesión de este bloque de actividades, aunque no pudo ser llevada a cabo:

5ª sesión – ACTIVIDAD: ¿Cómo podría fosilizarme?

Esta actividad debería comenzar de manera que la profesora y yo le preguntáramos a varios/as alumnos/as: ¿qué podría ocurrir si alguien de esta clase cayera en un río o en el mar y muriera?, ¿podría fosilizarse?, ¿cómo? Esta manera de empezar la clase tiene como objetivo llamar la atención del alumnado y hacerle partícipe de la actividad, además de saber cuáles son sus concepciones previas al respecto.

A continuación, la profesora y yo seguiríamos haciendo preguntas, con la intención de que la mayoría del alumnado participara, y les guiaríamos para poder llegar a la siguiente historia:

- El peso hunde el cuerpo y la corriente lo arrastra por el fondo. Las raspaduras en la piel hacen que la sangre se vierta en el agua;
- Los organismos predadores comienzan a comer las partes desgarradas y otros lugares blandos, como los ojos;
- Las criaturas acuáticas más pequeñas penetran en el organismo por todos los orificios y comienzan a comerlo desde el interior;
- Luego de unos pocos días, la descomposición de los alimentos contenidos en el aparato digestivo genera gases que hacen que el cuerpo flote hasta la superficie y sea arrastrado;
- Los peces y otras criaturas atacan todos los puntos débiles y comienzan a eliminar toda la piel;
- Cuando la piel y otras partes blandas como los pulmones y las vísceras han sido consumidas el cuerpo vuelve a hundirse y los músculos comienzan a pudrirse.
- A medida que los músculos se pudren o son comidos los huesos quedan expuestos, unidos aún por los ligamentos, pero a medida que estos comienzan a corromperse los huesos más pequeños empiezan a dispersarse;
- Las corrientes arrastran los huesos sobre el fondo, desgastándolos y rompiéndolos, primero los más pequeños y eventualmente también los más grandes;
- A su turno ellos también son arrastrados, desgastados y rotos, hasta que finalmente nada queda;

La conclusión a la que se debería llegar es a que este proceso es el que le ocurre al 99,99% de las criaturas, que cuando mueren, son comidas y destruidas y no se fosilizan. Con esto se pretende dar énfasis en que la fosilización es un fenómeno que difícilmente ocurre, y los dos factores más importantes para que se dé son el tiempo geológico, ya que tienen que pasar miles de años para que un ser vivo fosilice, y que se den unas condiciones muy específicas.

Así pues, las conclusiones a las que se quiere llegar con esta actividad son las siguientes:

- Las mejores oportunidades para fosilizarse están:

- Allí donde no hay energía para arrastrar los cuerpos.
- Allí donde no hay oxígeno, y no existen animales que puedan comerse el cadáver.
- Allí donde no hay bacterias que puedan corromper el cadáver.
- La mejor oportunidad para fosilizarse está en ser enterrado, por lo tanto, si queremos convertirnos en fósiles, será mejor que no nos caigamos al mar ni a un río, mejor que nos entierren.
- El entierro es mejor en algunos lugares que en otros. Si nos entierran en terrenos como la arena, por los que puede fluir el agua, ésta aportará el oxígeno y las bacterias que se ocuparan de hacer desaparecer nuestros restos. Debemos pedir que nos entierren en un terreno impermeable, como por ejemplo la arcilla, que mantenga el agua y el oxígeno lejos.
- Aunque se hayan encontrado muchos fósiles durante todo este tiempo, el proceso de fosilización es muy poco probable que ocurra, ya que el 99,9% de los seres vivos, cuando mueren, se rompen, descomponen, son comidos y destruidos.

El objetivo principal de esta actividad, es que el alumnado expusiera de forma verbal sus modelos mentales a cerca del proceso de fosilización, y a medida que fuera transcurriendo la sesión, éste lograra modularlos, cambiando sus posibles concepciones previas erróneas por conceptos correctos y aprobados científicamente. Esta actividad también está inspirada en la colección de propuestas didácticas de la página web del proyecto Earthlearningidea (<https://www.earthlearningidea.com/>) (Anexo 4).

Por otro lado, después de la primera sesión, con el grupo denominado control se desarrollaron dos sesiones de tipología tradicional expositiva, con la utilización de Power Points como único soporte para impartir el contenido pautado en la asignatura de Biología y Geología.

GRUPO DE CONTROL

3ª sesión - ACTIVIDAD: clase teórico-práctica sobre fósiles, no fósiles y su clasificación

Esta actividad se diferenciaba de la realizada con el grupo B en la metodología aplicada, pero el contenido era el mismo. En este caso, el alumnado también debía formar grupos de 3-4 personas (en esta clase el alumnado era el doble que en el otro grupo) y rellenar conjuntamente la ficha que también le entregué al alumnado del grupo B. La diferencia más clara en la actividad era que, en vez de traer objetos físicos que los alumnos y alumnas pudieran tocar, observar y manipular para realizar el ejercicio, traje un Power Point (Anexo 5) con fotografías de los objetos que utilizamos con el grupo experimental. De esta manera, se iban mostrando en el proyector las imágenes de los objetos que el alumnado debía clasificar, y ellos/as debían debatir con su grupo dónde colocar cada objeto. Después el resto de actividad fue igual que en el grupo B: una vez terminada la ficha, los alumnos y alumnas debían conjuntamente discutir y justificar sus respuestas de manera oral, siendo la profesora y yo quienes les guiábamos; el fin, nuevamente, era entender y encontrar la respuesta correcta conjuntamente y que el alumnado pudiera interiorizar el contenido impartido, para posteriormente plasmarlo en el test de conocimientos.

Cabe destacar que la actitud de este grupo frente a las clases, en comparación con el grupo experimental, fue bastante diferente; se notaba un alto nivel de distracción, falta de atención, e incluso de pasotismo. Además, al ser una clase con mucho más alumnado, y al formar grupos de trabajo más grandes, se podía apreciar como trabajaban únicamente una o dos personas del grupo, mientras el resto conversaba con otros/as compañeros/as o simplemente estaban distraídos/as.

También se pudo percibir que en este grupo había muchas más dudas, y les costaba más entender, por ejemplo, la diferencia entre traza fósil o fósil corpóreo, de la misma manera que les costaba entender por qué el fósil de una planta (que era parte la actividad) era un fósil corpóreo y no una traza fósil. Esto puede deberse a que la mezcla de conceptos o desinformación puede ser provocada porque en la clase teórica (2ª sesión), la mayoría del alumnado no mostró interés por lo que se estaba tratando en la clase y, por lo tanto, no estuvo atento para adquirir ciertos conceptos que posteriormente servirían para realizar la práctica de la siguiente sesión.

4ª sesión - ACTIVIDAD: Reconstrucción teórica de la historia de tres fósiles

La cuarta actividad para este grupo fue totalmente diferente a la impartida en el grupo experimental, ya que en esta se expuso de manera teórica cómo podría haber sido la vida de los 3 animales fosilizados anteriormente nombrados: el ammonites, el trilobites y la libélula. El objetivo de dar el mismo contenido en las dos clases, pero a través de metodologías diferentes, era observar qué cambios se presentaban, tanto a nivel de adquisición o interiorización de contenido como de satisfacción, en el alumnado; esto se estudió a través de los cuestionarios de conocimientos y de satisfacción adjuntados en el siguiente apartado, donde serán comentados los resultados obtenidos.

De esta manera, los 45 minutos de la sesión consistieron en impartir una clase teórica donde, en vez de hacerle al alumnado las preguntas que se le hicieron al grupo experimental, estas se explicaron de forma expositiva. En este caso, no se promovió que el alumnado pensase o sacase sus propias conclusiones, sino que éste se mantuvo en una posición de meros/as receptores/as pasivos/as de información.

4.4. Plan de seguimiento

En lo referente al plan de seguimiento empleado para la fundamentación de la propuesta de intervención y la obtención y análisis de los resultados obtenidos como producto de la realización de este Trabajo de Fin de Máster, cabe comentar lo siguiente: la evaluación asociada a la adquisición de conocimientos básicos sobre paleontología y la diferenciación entre objetos fósiles y no fósiles, y su posterior clasificación, así como la reconstrucción de la historia de algunos de ellos, se llevó a cabo mediante la realización de cuestionarios online por parte del alumnado de los dos grupos (control y experimental).

De esta manera, se diseñaron cuidadosamente dos documentos evaluativos, los cuales el alumnado debía completar dos semanas después de la impartición de las actividades propuestas.

El primer cuestionario o test de conocimientos, fue confeccionado con el objetivo de diagnosticar el nivel de adquisición e interiorización de los

conocimientos por parte del alumnado de los dos grupos durante las 3 sesiones. El fin principal de este era observar si, empleando la metodología propuesta en este trabajo, se podían observar mejores resultados en cuanto al nivel del alumnado acerca de los temas aquí tratados, en comparación con una metodología más expositiva y teórica. Es importante comentar que la realización de los tests fue a las dos semanas de trabajar los contenidos para poder comprobar también si el aprendizaje fue duradero, y si se logró una comprensión profunda de los conceptos y una visión más integrada de éstos. Es decir, el cuestionario pretendía detectar cuál era el nivel general del grupo o los distintos niveles existentes en el mismo acerca de la integración de los conocimientos referentes a la paleontología, las características de los fósiles y la clasificación de éstos, teniendo en cuenta si, pasado un tiempo, este contenido había sido realmente interiorizado y comprendido.

Por otro lado, el segundo test se diseñó para conocer la satisfacción del alumnado con respecto a las clases y la metodología impartida en cada una de ellas, destinado a la evaluación de aspectos emocionales y motivacionales relacionados con el empleo de la manipulación de objetos físicos y de la modelización o, por el contrario, la utilización de una metodología más expositiva y tradicional. El fin de este cuestionario era saber qué grado de utilidad considera el alumnado que tienen estas metodologías, qué cree que le aporta cada una de ellas, y qué propuestas de mejora sugieren.

Tal y como se verá en apartados posteriores, este estudio fundamenta sus resultados en la revisión de estos documentos y en la comparación entre sí de los resultados obtenidos por ambos grupos, a fin de obtener conclusiones referentes a la mayor o menor eficacia y adecuación de uno de los procedimientos seguidos frente al otro.

Se presentan a continuación tanto el cuestionario referente a la adquisición de conocimientos sobre la paleontología, la clasificación de los fósiles y los procesos de fosilización, como el destinado a conocer el nivel de satisfacción del alumnado acerca de la metodología empleada durante el desarrollo de las diferentes sesiones siendo, como ya hemos comentado en apartados anteriores, de carácter meramente expositivo en un grupo y, en contraposición, más

dinámico y práctico en el otro, empleando la manipulación y trabajo con objetos físicos.

ENCUESTA 4º ESO SOBRE FÓSILES (Grupos B y A)

1. Un diente de megalodón, ¿qué es?
 - a) No es un fósil
 - b) Fósil corpóreo
 - c) Traza fósil

2. Los nidos de avispa que trajo Patricia de Lanzarote, ¿eran fósiles?
 - a) Sí, porque tienen más de 10.000 años
 - b) No, porque se los encontró en la playa
 - c) No, porque no tienen más de 10.000 años

3. Probablemente, ¿dónde habría vivido el ammonites?
 - a) En los fondos marinos
 - b) En el mar, pero no en las profundidades
 - c) Pudo haber vivido tanto en fondos marinos como cercano a la superficie

4. ¿Qué tipo de fósil se observa en la imagen?



- a) Traza fósil de la piel de un reptil
- b) Fósil corpóreo de un tronco
- c) Fósil corpóreo de la piel de un reptil

5. ¿Las rocas pueden ser fósiles si tienen más de 10.000 años?
- a) No
 - b) Sí
6. ¿Los trilobites tenían cola?
- a) Sí
 - b) No
 - c) No podemos saberlo
7. Sobre el fósil de una libélula que vimos en clase ...
- a) Esta podría considerarse un fósil guía
 - b) Esta podría considerarse un fósil viviente
 - c) Es una traza fósil
8. El fósil que se observa en la imagen...



- a) Es una traza fósil
 - b) Es un fósil corpóreo
9. El exoesqueleto de erizo que vimos en clase...
- a) Es un fósil corpóreo
 - b) No es un fósil

c) Es una traza fósil

10. ¿Por qué no consideremos fósiles las conchas que vimos en clase?

- a) Porque las encontramos en la playa
- b) Porque son conchas, y no el animal en sí
- c) Porque no tienen más de 10.000 años

11. Lo que se ve en la imagen...



- a) Es una traza fósil
- b) Es un fósil corpóreo

12. ¿Cómo respiraba el Trilobites?

- a) Por difusión
- b) Por branquias
- c) Por pulmones

13. ¿Qué animales fueron seguramente depredadores?

- a) Libélula
- b) Trilobites
- c) Ammonites
- d) Los tres

14. ¿Qué animales fueron seguramente cazados por otros animales?

- a) Libélula
- b) Trilobites
- c) Ammonites
- d) Los tres

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN 4º ESO (Grupo B)

1. ¿Te gustó la primera clase teórica que dimos sobre los fósiles?

- a) Sí
- b) No
- c) Sí, pero preferiría que hubiera sido de otra manera

2. Si escogiste la última opción en la pregunta anterior, expresa brevemente cómo te hubiese gustado que fuera la primera clase impartida sobre fósiles.

3. ¿Habías manipulado o trabajado alguna vez con fósiles?

- a) Sí
- b) No
- c) Sólo los había visto, pero no había trabajado con ellos antes

4. ¿Te ha gustado la experiencia de trabajar con objetos físicos, poder tocarlos y experimentar con ellos?

- a) Sí
- b) No

5. ¿Te ha parecido más lúdica o motivadora esta metodología de enseñanza en comparación con aquellas de carácter más expositivo?

- a) Sí
- b) No

6. ¿Te ha parecido innovadora la metodología empleada durante el desarrollo de esta sesión práctica?

- a) Sí
- b) No

7. ¿Crees que si hubiéramos utilizado imágenes en vez de objetos físicos y fósiles, hubieras aprendido más, menos o igual?
- a) Habría aprendido menos con imágenes que con objetos físicos
 - b) Habría aprendido igual con imágenes que con objetos físicos
 - c) Habría aprendido más con imágenes que con objetos físicos

8. ¿Qué crees que te ha aportado realizar una práctica de identificación de fósiles, en comparación con lo que te podría aportar una explicación teórica sobre los mismos?

9. ¿Tienes alguna sugerencia, propuesta de mejora o alguna otra valoración que consideres oportuna realizar? La puedes dejar a continuación.

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN 4º ESO (Grupo A)

1. ¿Te gustó la primera clase teórica que dimos sobre los fósiles?

- d) Sí
- e) No
- f) Sí, pero preferiría que hubiera sido de otra manera

2. Si escogiste la última opción en la pregunta anterior, expresa brevemente cómo te hubiese gustado que fuera la primera clase impartida sobre fósiles.

3. ¿Has manipulado o trabajado alguna vez con fósiles? *

- d) Sí
- e) No
- f) Sólo los había visto, pero nunca había trabajado con ellos

4. ¿Te hubiese gustado trabajar en la segunda clase con objetos físicos, poder tocarlos y experimentar con ellos?

- a) Sí
- b) No
- c) Me da igual

5. ¿Te parecería más lúdica o motivadora la metodología de trabajar con fósiles en comparación con aquellas de carácter más expositivo?

- a) Sí
- b) No
- c) Me da igual

6. ¿Crees que si hubiéramos utilizado objetos físicos y fósiles en vez de imágenes, hubieras aprendido más, menos o igual?

- a) Habría aprendido menos con objetos físicos que con imágenes

- b) Habría aprendido igual con objetos físicos que con imágenes
- c) Habría aprendido más con objetos físicos que con imágenes

7. ¿Qué crees que te podría aportar realizar una práctica de identificación de fósiles, en comparación con lo que te ha aportado una explicación teórica o trabajar con imágenes sobre los mismos?

8. ¿Tienes alguna sugerencia, propuesta de mejora o alguna otra valoración que consideres oportuna realizar? La puedes dejar a continuación.

5. RESULTADOS

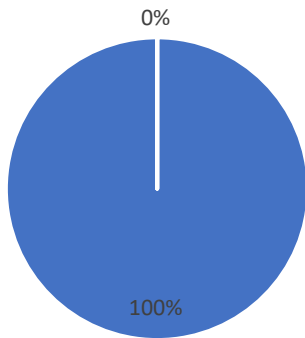
Una vez realizados por parte del alumnado tanto los cuestionarios sobre contenido como las encuestas de satisfacción, éstos fueron corregidos haciendo un recuento de la cantidad de respuestas acertadas e incorrectas para cada pregunta planteada. Los resultados se recogen en la Tabla 1, en la que se distinguen los datos obtenidos con el grupo control y con el grupo experimental. Igualmente, estos resultados se han representado mediante una serie de gráficos circulares en los que, en color azul se muestra el porcentaje de respuestas acertadas y, en naranja, el de las incorrectas.

	GRUPO CONTROL		GRUPO EXPERIMENTAL	
	Respuestas 25 alumnos/as		Respuestas 9 alumnos/as	
	Correctas	Incorrectas	Correctas	Incorrectas
Pregunta 1	20	5	9	0
Pregunta 2	18	7	8	1
Pregunta 3	15	10	5	4
Pregunta 4	17	8	8	1
Pregunta 5	11	14	9	0
Pregunta 6	14	11	9	0
Pregunta 7	10	15	7	2
Pregunta 8	9	16	7	2
Pregunta 9	5	20	6	3
Pregunta 10	18	7	9	0
Pregunta 11	9	16	8	1
Pregunta 12	20	5	9	0
Pregunta 13	8	17	9	0
Pregunta 14	5	20	9	0

Tabla 1. Datos obtenidos tras el análisis del test de conocimientos del grupo control y experimental.

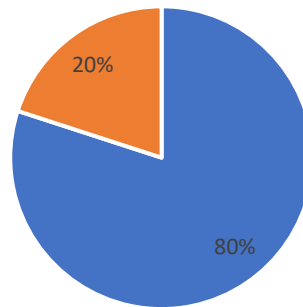
A continuación, en la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos en el test de conocimientos mediante gráficos circulares, con los respectivos porcentajes de respuestas correctas e incorrectas, para cada pregunta. En la columna de la izquierda se muestran los resultados del grupo experimental (GE), y en el de la derecha los del grupo de control (GC).

a) GE: Un diente de megalodón, ¿qué es?



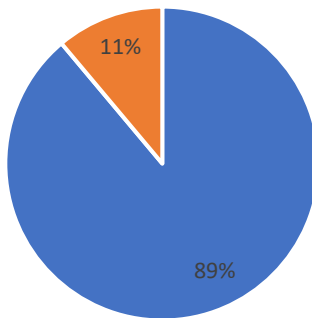
■ Correctas ■ Incorrectas

a) GC: Un diente de megalodón, ¿qué es?



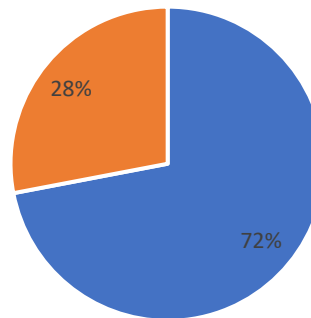
■ Correctas ■ Incorrectas

b) GE: Los nidos de avispa que trajo Patricia de Lanzarote, ¿eran fósiles?



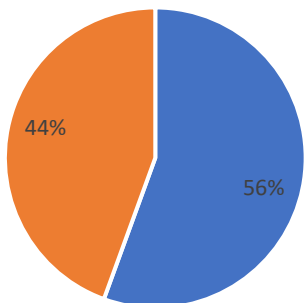
■ Correctas ■ Incorrectas

b) GC: Los nidos de avispa que trajo Patricia de Lanzarote, ¿eran fósiles?



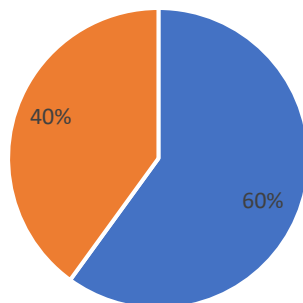
■ Correctas ■ Incorrectas

c) GE: Probablemente, ¿dónde habría vivido el ammonites?



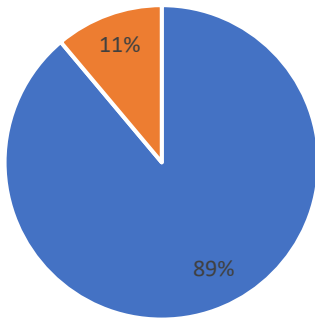
■ Correctas ■ Incorrectas

c) GC: Probablemente, ¿dónde habría vivido el ammonites?



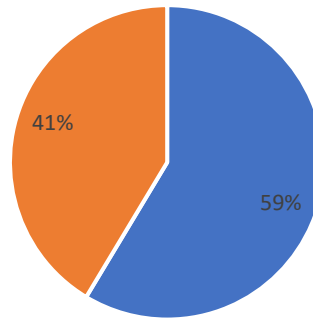
■ Correctas ■ Incorrectas

d) GE: ¿Qué tipo de fósil se encuentra en la imagen?



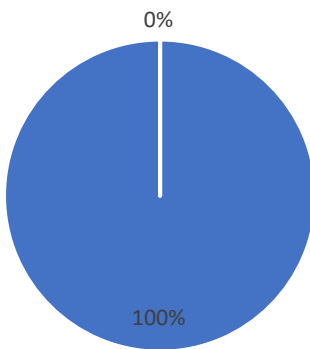
■ Correctas ■ Incorrectas

d) GC: ¿Qué tipo de fósil se encuentra en la imagen?



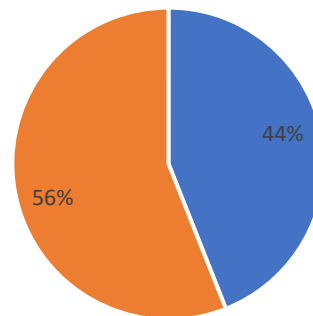
■ Correctas ■ Incorrectas

e) GE: ¿Las rocas pueden ser fósiles si tienen más de 10.000 años?



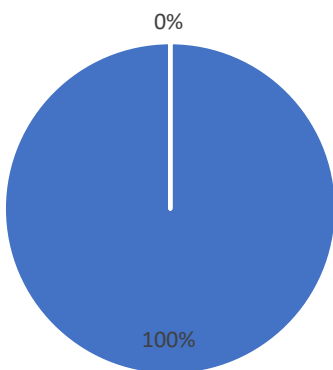
■ Correctas ■ Incorrectas

e) GC: ¿Las rocas pueden ser fósiles si tienen más de 10.000 años?



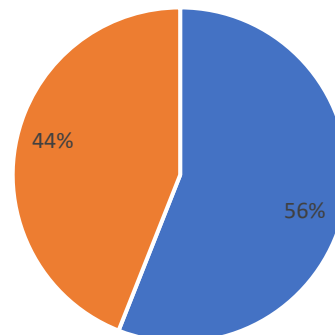
■ Correctas ■ Incorrectas

f) GE: ¿Los trilobites tenían cola?



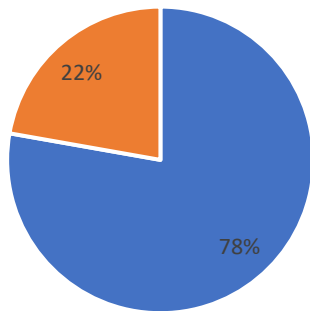
■ Correctas ■ Incorrectas

f) GC: ¿Los trilobites tenían cola?



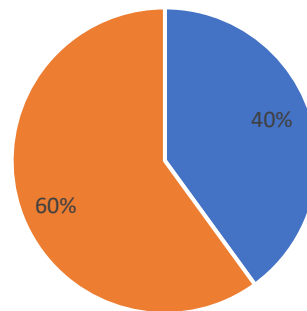
■ Correctas ■ Incorrectas

g) GE: Sobre el fósil que vimos en clase de una libélula...



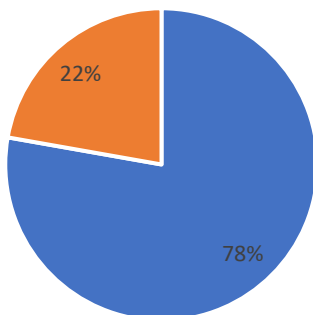
■ Correctas ■ Incorrectas

g) GC: Sobre el fósil que vimos en clase de una libélula...



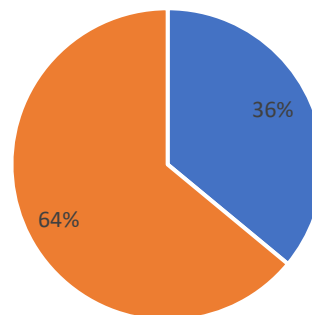
■ Correctas ■ Incorrectas

h) GE: El fósil que se encuentra en la imagen...



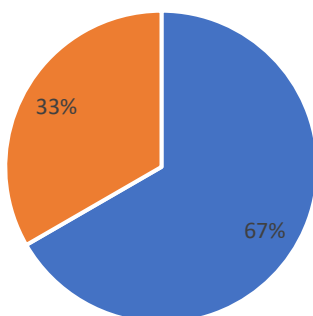
■ Correctas ■ Incorrectas

h) GC: El fósil que se encuentra en la imagen...



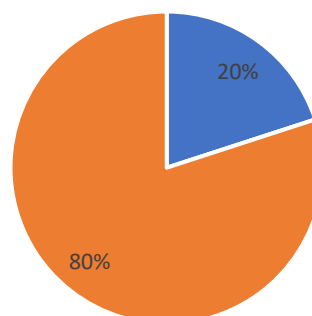
■ Correctas ■ Incorrectas

i) GE: El exoesqueleto de erizo que vimos en clase...



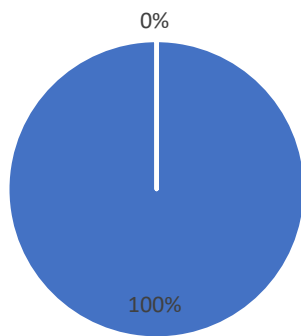
■ Correctas ■ Incorrectas

i) GC: El exoesqueleto de erizo que vimos en clase...



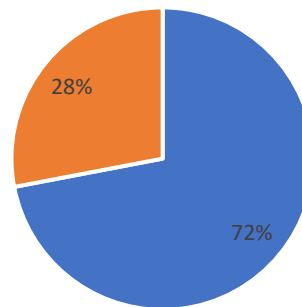
■ Correctas ■ Incorrectas

j) GE: ¿Por qué no consideremos fósiles las conchas que vimos en clase?



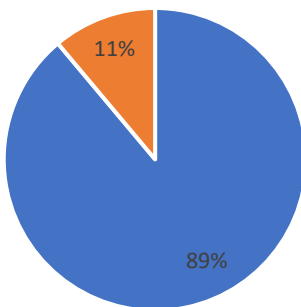
■ Correctas ■ Incorrectas

j) GC: ¿Por qué no consideremos fósiles las conchas que vimos en clase?



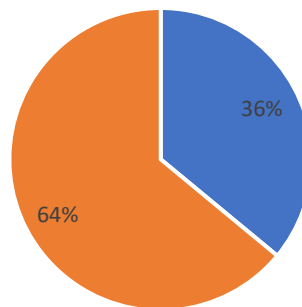
■ Correctas ■ Incorrectas

k) GE: Lo que se ve en la imagen...



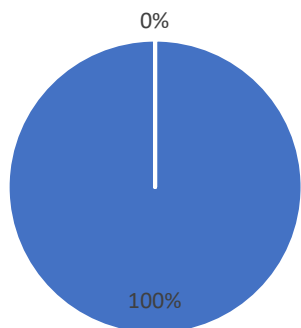
■ Correctas ■ Incorrectas

k) GC: Lo que se ve en la imagen...



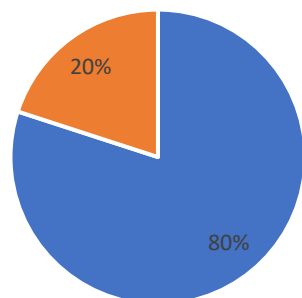
■ Correctas ■ Incorrectas

l) GE: ¿Cómo respiraba el Trilobites?



■ Correctas ■ Incorrectas

l) GC: ¿Cómo respiraba el Trilobites?



■ Correctas ■ Incorrectas

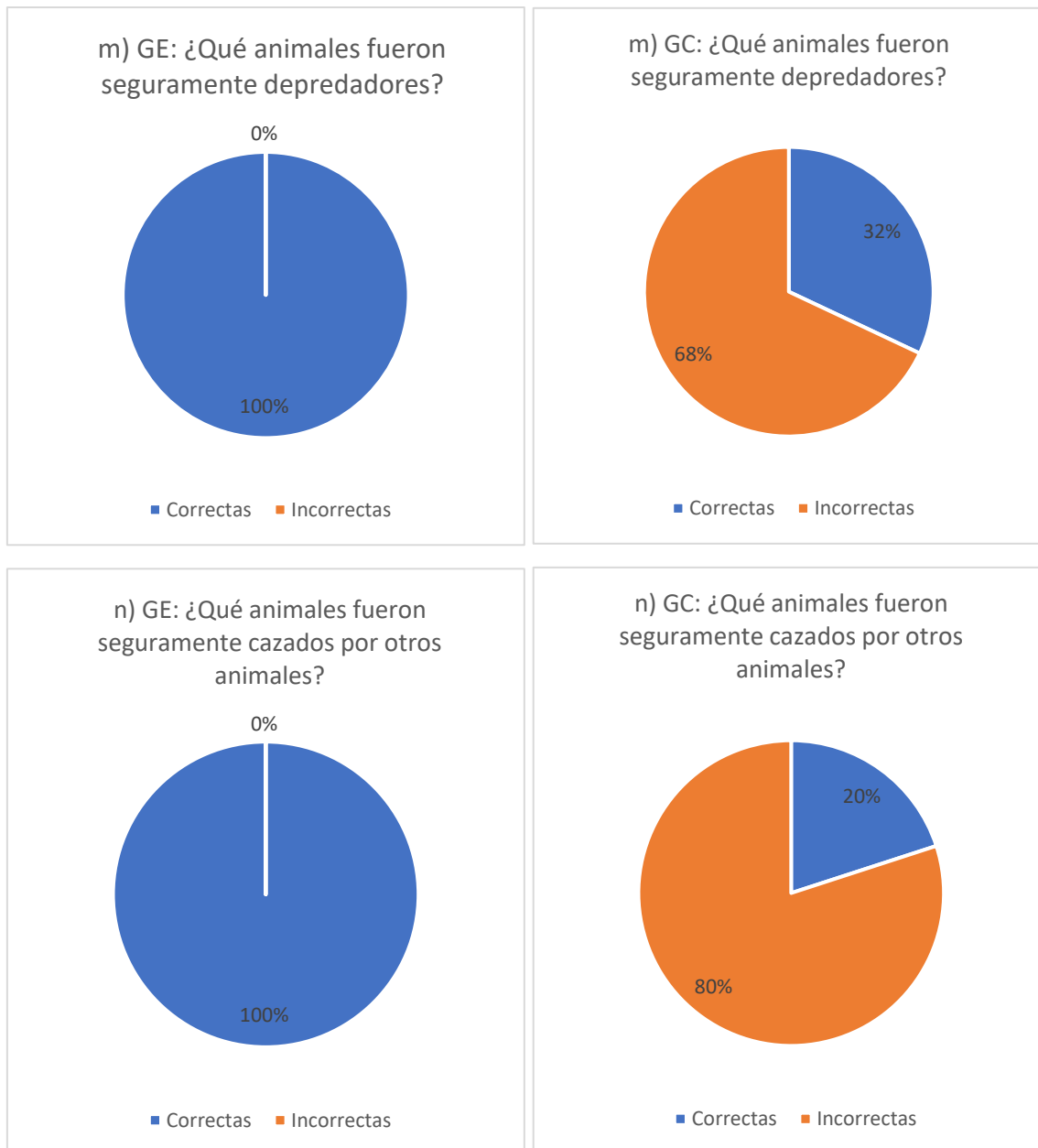


Figura 4. Gráficos circulares con las respuestas correctas e incorrectas al cuestionario de contenido de 4º ESO del Grupo Experimental (GE) n=9, y del Grupo Control (GC) n=25, y sus respectivos porcentajes.

5.1. Análisis de resultados para el grupo experimental

Como podemos observar en los gráficos anteriores, lo más llamativo de los resultados de este grupo es la predominancia de respuestas acertadas en el test de conocimiento, a diferencia del grupo control. Esto refleja una mejor comprensión de los conceptos impartidos en clase, como por ejemplo de los

requisitos para que un elemento se pueda considerar fósil, la diferencia entre fósil corpóreo y traza fósil, o la simple identificación de un fósil a través de su observación y manipulación. Se puede apreciar pues, que la mayoría de las respuestas son unánimes, es decir, el 100% de las alumnas entendieron lo mismo y respondieron correctamente, como puede verse en las figuras 4 del GE a), e), f), j), l), m) y n).

Por otro lado, en lo que respecta a la actividad 4, que consistía en reconstruir la historia de 3 fósiles, también se observó que las alumnas consiguieron construir un modelo mental de cómo pudieron haber vivido esos animales hace millones de años, gracias a sus conocimientos previos y a la información que pudieron adquirir a partir de las 3 actividades anteriores. Estas alumnas fueron capaces de expresar verbalmente sus modelos mentales, justificando y argumentando el por qué y el cómo, y después juntamente con su profesora, pudimos evaluarlos y moldearlos de manera que, al final, entendieran correctamente cómo fue la historia del animal y que ese modelo se quedara en sus mentes por un largo periodo de tiempo. Esto quedó reflejado en que la mayoría de las preguntas relacionadas con esta actividad fueron respondidas de manera correcta por las 9 alumnas (figuras 4 f), l), m) y n)).

Sin embargo, hubo dos preguntas que tuvieron respuestas más dispares en comparación con todas las demás, ya que la mayoría tuvo más del 75% de aciertos: las figuras 4 c) e i). No es sorprendente, ya que en la pregunta “Probablemente, ¿dónde habría vivido el ammonites?”, solo un 56% de la clase respondió correctamente que podía vivir tanto en fondos marinos como en las capas más superficiales del mar. Esta sería la respuesta más completa y correcta, y además este fenómeno se comentó durante la clase a modo de curiosidad. No obstante, y aunque un 44% de la clase respondió que vivían en fondos marinos, ésta no era una respuesta del todo incorrecta o disparatada, sino que simplemente puede que no atendieran en ese momento o se quedaran solo con la mitad de la información dada.

En el caso de la pregunta i) sobre si el exoesqueleto de erizo que vimos en clase era un fósil o no, un 67% de la clase respondió correctamente que no, mientras que un 11% respondió que era una traza fósil, y el otro 22% que era un fósil corpóreo. Es necesario comentar que, durante la clase, la mayoría de las

alumnas tenía dudas con este objeto, ya que nunca habían visto un caparazón de erizo, y por su aspecto muchas pensaban que sí era un fósil. A pesar de haberlo comentado y corregido durante la actividad 3, y aunque la mayoría respondió bien en el cuestionario, los resultados muestran que algunas alumnas no retuvieron esa información y, tal vez, se dejaron llevar por su intuición al contestar.

En conclusión, esta metodología ha tenido el efecto esperado: las alumnas entendieron lo que se les enseñó, tuvieron la capacidad de elaborar un modelo mental a partir de sus conocimientos previos y, gracias a la información aportada y aprendida en estas actividades, consiguieron expresar, moldear y cambiar ese modelo a uno más correcto y aprobado científicamente. Además, según ha podido observarse en los buenos resultados de los cuestionarios, estas alumnas integraron y retuvieron prácticamente toda la información importante y básica y plasmarlo en dichos cuestionarios dos semanas después, por lo que este conocimiento perduró en sus memorias a medio plazo. Esto también denota una atención sostenida durante las sesiones, y más interés por lo aprendido, en comparación con el grupo control.

5.2. Análisis de resultados para el grupo de control

Analizando las respuestas del grupo control, se observa una falta notable de comprensión e interiorización de los contenidos en comparación con el grupo experimental, ya que las respuestas fueron muy dispares y, aunque algunas podían ser medianamente acertadas (pero incompletas), gran parte del alumnado dio respuestas que se alejan bastante de la considerada correcta. Esto demuestra que muchos/as alumnos/as no estaban prestando atención a la clase y, por lo tanto, no entendieron muchos de los aspectos explicados, los cuales eran importantes para responder bien el cuestionario. De esta manera, gran parte del alumnado de este grupo respondió en base a sus ideas o conocimientos previos, sin relacionar estas ideas con la información que se dio en clase para poder responder de manera correcta.

Concretamente, más de la mitad del alumnado de este grupo no fue capaz de identificar objetos fósiles o no fósiles a través de la mera observación de

imágenes, o no fue capaz de retener tal información durante unas semanas y plasmarla en el cuestionario, como se muestra en los resultados de la figura 4 h), i) y k), a diferencia del grupo experimental, donde la mayoría respondieron correctamente estas cuestiones. Por otro lado, los resultados que más me impactaron fueron los de la figura 4 e), donde se preguntaba si las rocas pueden llegar a ser fósiles; un 56% del alumnado respondió que sí. Esto denota la falta de comprensión y de atención, además de evidenciar que no tenían una base consolidada sobre qué es un fósil o qué características ha de tener un “objeto” para ser considerado fósil. Además, un porcentaje elevado de alumnado no entendió la diferencia entre fósil guía y fósil viviente (figura 4 g)), no se acordaba de que el trilobites tenía cola, a pesar de tratarlo en varias ocasiones en la actividad 3 (figura 4 f)), o no acabó de entender por qué el caparazón de erizo que se le mostró en clase no era un fósil (figura 4 i)), como sucedió también en el grupo experimental.

Con respecto a la última actividad, otro aspecto que también se puede percibir es que el alumnado no estaba muy entusiasmado ni atento a lo que se estaba tratando en clase, y esto lo reflejaron sus respuestas tan dispares e incorrectas. Esto se aprecia en las figuras 4 m) y n), donde el porcentaje de aciertos no llegó al 35%; ninguna respuesta era incorrecta en este caso, pero sí incompleta. En la figura 4 c), pasaba lo mismo que con el grupo experimental, que respondió correctamente una gran cantidad de alumnado, pero el resto respondió de manera incompleta.

Analizando estos resultados, vemos que concuerdan con la hipótesis de partida. En el grupo de control, con el que no se trabajó en la construcción de un modelo, sino que se le dio al alumnado esta parte del temario de manera expositiva, la mayoría de este no atendió o no mostró interés por lo que se estaba explicando. También cabe decir que la disparidad en las respuestas observadas en el grupo de control, se pudo haber debido al mayor número de alumnado de este grupo en comparación con el grupo experimental, ya que, a mayor número de estudiantes, mayor margen de error. No obstante, muchas de las preguntas obtuvieron un mayor porcentaje de respuestas incorrectas que de correctas en el grupo de control en comparación con el grupo experimental. Además, las preguntas con mayor número de aciertos fueron las de carácter obvio o

mecánico, por lo que el alumnado del grupo de control recurrió más a sus conocimientos previos y a su intuición y no a la información aportada en clase.

5.3. Análisis sobre la satisfacción del alumnado

En el grupo experimental, 9 de 9 alumnas calificaron la metodología empleada como innovadora, lo cual no es de extrañar puesto que más de la mitad manifestó no haber trabajado nunca con fósiles ni haberlos manipulado, aunque algunas sí aseguraron haberlos visto alguna vez (seguramente en museos). Por otro lado, el 100% del alumnado de este grupo mencionó creer que trabajando con imágenes en el proyector habría aprendido menos que trabajando con objetos físicos, lo cual demuestra que encontraron útil esta metodología más práctica y manipulativa para la mejora de su propio proceso de aprendizaje. Además, cabe destacar que todas ellas consideraron más lúdica y motivadora la metodología empleada que otras de carácter más expositivo o tradicional.

Finalmente, cuando se le preguntó al alumnado de este grupo qué creía que le había aportado esta actividad, en comparación con una meramente teórica y expositiva, se obtuvieron diversas respuestas que, en el fondo, querían decir lo mismo: “puedes visualizar mejor la teoría y entenderla de una manera más práctica”, “que las he podido manipular y observar más detenidamente que si fuera una imagen”, “más interés por lo que se estaba explicando, ya que lo que se nos explica de manera teórica es más aburrido y perdura menos en la memoria”. Todas las respuestas van en la misma dirección: el hecho de poder tocar y manipular algo que se está trabajando en clase, es positivo para el alumnado y para su aprendizaje. La frase tal vez más destacable fue la siguiente: “estar más atenta y enterarme más de las cosas, ya que podía manipular los objetos y entender más lo que la profe nos estaba intentando enseñar”, y es que, de esta manera, seguramente estas alumnas aún recuerden en unos años por qué un diente de megalodón es un fósil corpóreo, o cómo respiraba un trilobites hace millones de años.

A la hora de comentar los resultados de la satisfacción del grupo control, cabe mencionar que las respuestas no fueron tan unánimes como en el grupo

experimental, seguramente por ser una clase con más del doble de alumnado y, por lo tanto, con respuestas más diversas. De esta manera, el 96% de la clase aseguró que trabajar con fósiles y poder manipularlos les parecía una metodología más lúdica y motivadora que trabajar el temario de forma expositiva, a la vez que también comunicó que preferían haber trabajado con objetos físicos y que la clase fuera más práctica. Estos resultados son los que se esperaba encontrar, ya que varios artículos mencionados en apartados anteriores prueban que el trabajo con modelos y actividades prácticas mantiene al alumnado activo y promueve la atención sostenida, así como su interés y motivación.

Por otro lado, cuando al alumnado se le preguntó si consideraban que utilizando objetos físicos y llevando esta actividad a la práctica aprenderían más, menos o igual que trabajando como lo hicimos, es decir, de manera expositiva únicamente, sólo el 52% de la clase afirmó que aprendería más; mientras que el otro 48% aseguraba que hubiese aprendido igual. Esto es algo interesante ya que, en el resto de las respuestas del cuestionario, los alumnos y alumnas reiteraban que preferían trabajar de manera más práctica, aunque por lo visto, creían poder aprender lo mismo con las dos metodologías. No obstante, en el apartado de análisis de los dos grupos (5.1 y 5.2), se denota claramente que el alumnado del grupo experimental tenía los conceptos o el contenido más interiorizado que el alumnado del grupo control, ya que en este último las respuestas eran más dispares. Además, algunas respuestas se alejaban bastante de lo que se dijo en clase, o estaban muy alejadas de “lo que es correcto”. Esto muestra que parte del alumnado del grupo control, no calificaba de útil o eficaz la metodología en los tests de satisfacción; sin embargo, los resultados del cuestionario de contenidos reflejaron todo lo contrario

La penúltima pregunta del cuestionario de satisfacción fue la siguiente: “¿Qué crees que te podría aportar realizar una práctica de identificación de fósiles, en comparación con lo que te ha aportado una explicación teórica o trabajar con imágenes sobre los mismos?”. La mayoría de las respuestas fueron entorno a que la práctica podía aportar una mejora a la hora de aumentar el interés, el entretenimiento e incluso la diversión por parte del alumnado, además de que algunos/as aseguraron que podía aportar más conocimiento o que este perdurara en la memoria a largo plazo; todo esto a diferencia de los resultados

que se obtuvieron a partir de una clase teórica y meramente expositiva, como fue el caso en el grupo control. Otras respuestas también reflejaron que el alumnado creía poder entender mejor el contenido a través del trabajo y la manipulación de objetos y, por lo tanto, podrían llegar a construir un modelo mental, expresarlo, e ir evaluándolo y moldeándolo hasta llegar a un modelo más sólido y completo, además de ser aprobado científicamente. En resumen, y como se comentó anteriormente, los alumnos y alumnas del grupo control aseguraron firmemente que una metodología que les despierte interés, motivación e incluso diversión, además de promover que piensen, investiguen y argumenten, es algo positivo y muy favorable en su proceso de aprendizaje. Además, también pudieron darse cuenta de que tenían la capacidad de construir, expresar y modular sus modelos mentales, hecho que, de manera expositiva, no podrían experimentar ni corroborar.

Las respuestas referentes a las propuestas de mejora y sugerencias sobre la actividad, aunque no fueron muchas, trataron siempre el mismo tema, queriendo destacar sobre todo la siguiente: “Que en vez de siempre en clase dar tanta teoría que es un poco aburrido, dar un poco más de práctica para no estar siempre sentados en una silla, e interactuar con los objetos. Con esto no quiero decir que se quiten las clases teóricas porque son muy importantes ya que si no sabes la teoría no puedes hacer la práctica”. Se podría considerar que esta frase reflejó perfectamente el deseo o la necesidad que tenía el alumnado por hacer actividades dinámicas, donde pudieran explorar, manipular objetos, salir de la dinámica tan expositiva y tradicional, poder “levantarse de la silla” y trabajar de manera más práctica. Este deseo podría impulsar su motivación e interés por la actividad o contenido, dejando de ser meros receptores de información y pasando a ser los exploradores de la información, investigadores, que pudieran pensar por ellos/as mismos/as y fueran capaces de argumentar, justificar y pensar de manera crítica para llegar a una solución, todo ello aprendiendo a trabajar en equipo. De esta manera, podría concluirse que escuchar al alumnado es una tarea muy importante que todo docente debería realizar, sobre todo para saber cómo mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de sus alumnos/as, captando su atención, promoviendo la motivación por la materia que debe impartir y consiguiendo un aprendizaje significativo por parte del alumnado.

6. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

En general, resulta obvio comentar, tras los análisis anteriormente expuestos, que la utilización de una metodología innovadora como es el ABM, así como la impartición de clases y actividades más prácticas, confiere una ventaja cuantitativa y cualitativa a nivel de contenido y también a nivel de satisfacción, motivación y de atención sostenida; sin olvidar que también ayuda a retención de cierta información en la memoria a medio plazo, como podría ser el caso de un modelo mental sólido y científicamente aceptado. Esto se constata en los resultados obtenidos en los test de conocimientos realizados por las alumnas del grupo experimental, que obtuvieron un mayor porcentaje de respuestas correctas en prácticamente todas las preguntas del cuestionario. La mayoría de las respuestas correctas de este grupo fueron de índole diversa, es decir, no podrían haber sido contestadas correctamente por pura intuición, lo cual denota una mejor comprensión de qué características debe tener un fósil, cómo identificar un fósil, o cómo interpretar la historia de un animal que vivió hace millones de años a través de la construcción y evaluación de un modelo mental. En contraposición, los resultados obtenidos por el grupo de control reflejaron una comprensión muy deficiente en lo que respecta a la mayoría de las cuestiones del test, demostrando únicamente la adquisición de los conocimientos más básicos de este tema por parte de un porcentaje muy bajo de alumnado.

Por otro lado, cabe mencionar como propuesta de mejora, el haber podido dedicar alguna sesión más para poner en práctica la propuesta de intervención, ya que hubiese sido interesante que el alumnado del grupo experimental plasmara o expresara su modelo mental inicial en la segunda sesión, después de la charla de la conservadora del museo, o incluso antes, para poder observar los cambios en dicho modelo antes y después de llevar a cabo las actividades propuestas. De esta manera, se hubiese podido comprobar qué ideas previas tenía el alumnado antes de tratar el tema de la paleontología, y si las actividades realizadas posteriormente habrían sido suficientes para modular y perfeccionar el modelo mental que ellas tenían antes de tratar este tema. Además, también hubiera sido interesante impartir la actividad de la 5ª sesión, ya que se habrían obtenido más resultados, y seguramente se hubieran obtenido unas

conclusiones más sólidas con respecto a los beneficios del ABM. No obstante, se puede concluir que la aplicación de un aprendizaje basado en esta metodología puede ser lo suficientemente eficaz como para que, dos semanas después, el alumnado haya integrado en su memoria a medio plazo los contenidos básicos y más importantes, como se reflejó en los cuestionarios. No se puede decir lo mismo de los resultados del grupo de control, donde se vio claramente que la mayor parte del alumnado no entendió parte del tema tratado, no tuvieron una atención sostenida durante las sesiones, o simplemente esa información no la integraron y, por lo tanto, no se vio reflejada la adquisición de este contenido en los cuestionarios.

Algo muy importante a destacar, es que este trabajo se centra en las metodologías aplicadas en dos grupos diferentes, sin haber tenido en cuenta otros muchos factores que pudieron influir en los resultados, como por ejemplo la diferencia significativa entre el número de alumnos/as de una clase respecto a la otra; el grupo de control constaba de 25 alumnos/as y podría ser que la clase fuera menos fluida y más difícil, con respecto al clima en el aula, ruido o interrupciones, a diferencia del grupo experimental, constituido por 9 alumnas, donde el clima era más relajado, atendían con más facilidad y las actividades se desarrollaron de forma mucho más amena. Otro aspecto a tener en cuenta, es en qué estado se encontraba el alumnado durante las sesiones, o durante la realización de los cuestionarios, es decir, cómo se sentían, qué estado de ánimo tenían, qué clase habían tenido anteriormente, qué pasaba por sus cabezas, etc. Es por ello que se necesitaría un estudio más extenso, donde se tuvieran en cuenta más variables, donde el número de alumnado en cada grupo fuera más o menos el mismo y, como he dicho antes, donde se tuvieran en cuenta los conocimientos previos del alumnado.

Finalmente, a pesar de todo lo mencionado anteriormente, lo que sí queda claro en este estudio es que prácticamente todo el alumnado está de acuerdo en que prefiere actividades más activas y prácticas, donde puedan levantarse, explorar por ellos/as mismos/as, manipular objetos, o simplemente que con algunas preguntas bien planteadas se les haga pensar, argumentar y justificar, utilizando el sentido crítico y que se sientan seguros/as, sin miedo a cometer errores, para ir evaluando y perfeccionando sus modelos previos. En

contraposición, la mayoría asegura que aprenden menos siendo meros receptores de la información, ya que ésta perdura en la memoria mucho menos tiempo, y su atención y motivación se ven muy disminuidas con este tipo de metodología.

De los cuestionarios realizados a lo largo de este trabajo se concluye que los alumnos y alumnas:

- Consideran el material tridimensional tangible un buen complemento para su formación y aprendizaje.
- Prefieren metodologías más prácticas y activas, con respecto a las más tradicionales y expositivas, ya que las consideran más beneficiosas.
- Tienen mejores resultados a nivel de conocimiento, y logran una comprensión más profunda de los fenómenos o procesos con estas metodologías más innovadoras.
- Retienen mejor la información en la memoria a corto plazo a través de una metodología como es el ABM, en comparación con una más expositiva y pasiva.

7. AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a María Candelaria Martín por su propuesta para este trabajo y su gran ayuda en el seguimiento y estructuración del mismo. Gracias a ello he podido aprender mucho sobre el aprendizaje basado en modelos, una metodología que estoy segura de que utilizaré en el futuro por los beneficios obtenidos según evidencias científicas y según mi proyecto.

También estoy muy agradecida por haber conocido a todos los miembros del departamento de Biología y Geología del IES San Benito, por hacer mis días más amenos y por las risas tanto en las aulas como fuera de ellas. En especial, quiero dar las gracias a mi tutor de prácticas, Jonay Hernández Pérez, por haber sido mi compañero durante todos estos meses y por ser el mejor “mentor” que alguien puede tener. Por dejarme ser su aprendiz, por hacerme sentir una más, y por enseñarme cómo puedo llegar a ser una buena futura docente.

También quería dar las gracias a mis amigos, especialmente a los de la universidad, porque nos hemos apoyado mutuamente en esta bonita etapa.

Por último, me gustaría agradecer el apoyo y el cariño de mi madre, Pili; mi padre, Víctor; mi hermana Aina y mi alma gemela, Laura.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A «Semantic» View of Scientific Models for Science Education. *Science and Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/S11191-011-9431-7>
- Almagro Gorbea, M. J. (1988). La utilidad de sustitutos y reproducciones en los Museos. *Boletín de la ANABAD*, 38(3), 177-186.
- Arribas, A. B. (2004). Nuevos registros paleontológicos de grandes mamíferos en la Cuenca de GuadixBaza (Granada), aportaciones del proyecto Fonelas al conocimiento sobre las Faunas continentales del Plioceno-Pleistoceno europeo. *Boletín Geológico y Minero*, 567-582.
- Bachelard, G. (1990). *La formación del espíritu científico*. 16 edición, Siglo XXI de España editores S.A., Madrid.
- Bercial, M. T., García Sánchez, J., Calonge García, A., & López Carrillo, M. D. (2003). El uso didáctico de los fósiles en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Pulso: revista de educación*, 26(26), 117-128.
- Bohigas, X., & Periago, M. C. (2010). Modelos mentales alternativos de los alumnos de segundo curso de Ingeniería sobre la Ley de Coulomb y el Campo Eléctrico. *Revista electrónica de investigación educativa*, 12(1), 1-15.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education. *Developing Models in Science Education*, 41-57. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_3
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: a dual mechanisms framework. *Trends in cognitive sciences*, 16(2), 106-113. <https://doi.org/10.1016/J.TICS.2011.12.010>
- Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), 895–935.
- Buckley, B. C. (2012). Model-Based Learning. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, 2300-2303. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_589

- Calonge García, A., & López Carrillo, M. D. (2005). Una propuesta práctica para acercarse a la noción de fósil y fosilización. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 44, 49-56.
- Ceballos, M., Vílchez, J. E. & Escobar, T. (2017). La enseñanza de la Evolución en Primaria. Opinión del profesorado y exploración de ideas inadecuadas en los niños. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Aula, Museos y Colecciones*, 4, 55-68.
- Ceballos, M., Vílchez, J. E. & Reina, M. (2019). Concepto de fósil en niños de primero a cuarto de Educación Primaria: ¿cómo lo adquieren? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(2), 210-210.
- Cosenza R. M. & Guerra L. B. (2011) *Neurociência e educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre: Artmed.
- Craik, K. (1943). *The Nature of Explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Decreto 83/2016, 4 julio, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Canarias.
- Decreto 211/2022, de 10 de noviembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Primaria en la Comunidad Autónoma de Canarias.
- Dehaene S. (2019) *¿Cómo aprendemos? Los cuatro pilares con los que la educación puede potenciar los talentos de nuestro cerebro*. Buenos Aires: XXI Siglo Veintiuno Editores, 1ª. ed.
- Dove, J. E. (1998). Students' alternative conceptions in Earth science: a review of research and implications for teaching and learning. *Research Papers in Education*, 13(2), 183-201. <https://doi.org/10.1080/0267152980130205>
- Fragouli, S., Rokka, A., & Galani, A. (2017). The “unknown” greek paleoenvironment and fossils: evaluating geography curriculum proposals for elementary school. *European Journal of Geography*, 8(2), 143-152.

- Francek, M. (2013). A compilation and review of over 500 geoscience misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.736644>
- Franco, C., & Colinviaux, D. (2000). Grasping Mental Models. *Developing Models in Science Education*, 93-118. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_5
- Galagovsky, Lydia R. & Adúriz-Bravo, Agustín. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(2), 231-242.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model. *Developing Models in Science Education*, 19-40. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_2
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Basel: Springer.
- Gonçalves, S., Arai, M., Gomes, N. Z. & Wanderley, M. D. (2016). Paleontologia no Ensino Básico das escolas da Rede Estadual do Rio de Janeiro: uma avaliação crítica. *Anuário do Instituto de Geociências*, 39(2), 134-142.
- Huang, Y., Yapple, Z. A., & Yu, R. (2020). Goal-oriented and habitual decisions: Neural signatures of model-based and model-free learning. *NeuroImage*, 215. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2020.116834>
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press.
- Johnson-Laird P. N. & Byrne R. M. J. (1991). *Deduction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Johnson-Laird, P. N. (2006). Models and heterogeneous reasoning. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 18(2), 121-148. <https://doi.org/10.1080/09528130600558091>

- Johnson-Laird, P.N. (2008). *Mental models and deductive reasoning*. In Rips, L. and Adler, J. Reasoning: Studies in Human Inference and Its Foundations. Cambridge: Cambridge University Press. 206-222.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Lillo J. & Redonet L.F. (1985). *Didáctica de las Ciencias Naturales*. T. I. Editorial Ecir.
- Loarces, R. G., Ferrer, G. F. & García, F. G. (2019). Evolución de los modelos mentales sobre fosilización tras el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2102. <https://doi.org/10.25267/Rev Eureka ensen divulg cienc.2019.v16.i2.2102>
- Márquez, C. & Bach i Plaza, J. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 280-286.
- Márquez, C. & Roca Tort, M. (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 63-71.
- Moreira, M. A., Luz, M., Palmero, R., González Y González, A., Felipe, C., Castillo, D., Laguna, L. & Cruz De Tenerife, S. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 84-96.
- Moreno, M., Sastre, G., Bovet, M. & Leal, A. (1998). *Conocimiento y cambio*. Barcelona: Paidós.
- Nappa, N., Insausti, M. J., & Sigüenza, A. F. (2017). Características en la construcción y rodaje de los modelos mentales generados sobre las disoluciones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 2-22.

- Nersessian, N. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. *The cognitive basis of science*. Cambridge University Press, N.Y. 133-153.
- Nersessian, N. J. (2013). Mental modeling in conceptual change. *International handbook of research on conceptual change*, 9, 395-412.
- Ocampo Flórez, E. (2017). Modelos mentales sobre aprendizaje en estudiantes de pedagogía infantil. [Tesis de doctorado, Centro de Estudios Avanzados en Niñez y Juventud alianza de la Universidad de Manizales y el CIND]. www.clacso.edu.ar
- Oliva Martínez, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De investigación Y Experiencias didácticas*, 37(2), 5-24
- Oliva Gil, J. (2011). Cómo usar analogías en la enseñanza de los modelos y de los procesos de modelización en ciencias. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 69, 80-92.
- Oliveira, D. K. B. S., Justi, R. & Mendonça, P. C. C. (2015). The Use of Representations and Argumentative and Explanatory Situations. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1402-1435. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1039095>
- Orellana, O., García, L., Pomalaya, R., Morocho, J., Elizalde, R., Leoncio, S. A., Rivera, J., Sótelo, L., Sótelo, N., Salazar, M., 10, C., Orellana, D., 11, G. & Chávez, J. (2006). Modelos mentales de la calidad universitaria en estudiantes sanmarquinos. *Revista de investigación en psicología*, 9(2), 93-118.
- Otero, M.R. & Banks-Leite, L. (2006). Modelos mentales y modelos numéricos: un estudio descriptivo en la enseñanza media. *Relime*, 9(1), 151-178.
- Padian, K. (2000). Feathers, fakes and fossil dealers: how the commercial sale of fossils erodes science and education. *Paleontología Electrónica*, 3(2), 8.
- Pedrinaci Rodríguez, E. (1993). Concepciones acerca del origen de las rocas: una perspectiva histórica. *Investigación en la escuela*, 19, 89-104.

- Pedrinaci, E. (2013). Monográfico: ¿Qué geología enseñar? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 114-217.
- Perticarrari, A. & Figueiredo, A. O. (2022). El aprendizaje basado en modelos mantiene a los alumnos activos y con atención sostenida. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3102
- Reinfried S. & Tempelmann S. (2014) The impact of secondary school students'preconceptions on the evolution of their mental models of the greenhouse effect and global warming. *International Journal of Science Education*, 36(2), 304-333.
- Rodrigo, M.J. (1994). Etapas, contextos, dominios y teorías implícitas en el conocimiento escolar. *En Contexto y Desarrollo Social*. Madrid: Síntesis.
- Rodrigo, M.J. (1997). Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. *La construcción del conocimiento escolar*, 177-194.
- Rodrigo, M.J & Arnay, J. (1997). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós. 177-194.
- Rodrigo, M.J. & Correa, N. (1999). Teorías implícitas, modelos mentales y cambio educativo. *El aprendizaje estratégico*. Madrid: Santillana Aula XXI.
- Rodrigo, A. (2019). Gea y los fósiles: un recurso para la enseñanza de la paleontología. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 96, 37-40.
- Rodríguez M. (1997) Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(2), 123-14.
- Rogoff, B., Topping, K., Baker-Sennett, J. & Lacasa, P. (2002). Mutual contributions of individuals, partners, and institutions: Planning to remember in Girl Scout cookie sales. *Social Development*, 11(2), 266-289. <https://doi.org/10.1111/1467-9507.00198>

- Ronald N. Giere. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742-752.
- Rudwick, M. (1987). El significado de los fósiles. *Episodios de la Historia de la Paleontología*. Hermann Blume, Madrid.
- Sanmartí i Puig, N., Izquierdo i Aymerich, M. & Espinet Blanch, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(1), 45-60.
- Saorin Pérez, J. L., Meier, C., Ruiz Castillo, C., De La Torre-Cantero, J., Melián Díaz, D. & Bonnet De León, A. (2016). Creación, visualización e impresión 3D de colecciones online de modelos educativos tridimensionales con tecnologías de bajo coste; Caso práctico del patrimonio fósil marino de Canarias. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 17(3), 89-108. <https://doi.org/10.14201/EKS201617389108>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/TEA.20311>
- Seel, N. M. (2003). Model-centered learning and instruction. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1, 59–85.
- Seel, N. M. (2006). Mental models in learning situations. *Advances in Psychology*, 138(1), 85-107. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(06\)80028-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(06)80028-2)
- Seel, N. M. (2017). Model-based learning: a synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65(4), 931-966. <https://doi.org/10.1007/S11423-016-9507-9>
- Seel, N. M., Al-Diban, S., & Blumschein, P. (2000). Mental Models & Instructional Planning. *Integrated and Holistic Perspectives on Learning, Instruction and Technology*, 129-158. https://doi.org/10.1007/0-306-47584-7_8

- Solaz-Portolés, J.J. & Sanjosé-López, V. (2007). Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 70-89.
- Solaz-Portolés, J.J. & Sanjosé López, V. (2008). Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: consecuencias para la enseñanza. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*. 1, 147-162.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)

9. ANEXOS

Anexo 1. Genially fósiles 2a sesión

<https://view.genial.ly/644167deec7c90013325f3c/presentation-presentacion-fosiles-4o-eso>

Anexo 2. Tabla para completar y clasificar objetos fósiles y no fósiles

https://docs.google.com/document/d/11Jc_jEyBSyFYS7FkIhpDv0o21qrLklf/edit?usp=sharing&oid=106098939253949770713&rtpof=true&sd=true

Anexo 3. Modelo 1 fósiles: ¿cómo habrá sido estar allí?

https://www.earthlearningidea.com/PDF/Spanish_Whatwasitliketobethere-fossil.pdf

Anexo 4. Modelo 2 fósiles: ¿Cómo podría fosilizarme?

https://www.earthlearningidea.com/PDF/50_Spanish.pdf

Anexo 5. Power Point con imágenes de objetos fósiles y no fósiles

<https://docs.google.com/presentation/d/1Zqz8hY9QEdEPCx81wNvrlwSQjWayoi/ra/edit?usp=sharing&oid=106098939253949770713&rtpof=true&sd=true>