



Universidad
Zaragoza



Máster en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas, Artísticas y Deportivas

Especialidad en Biología y Geología

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2020/21

Los procesos geológicos internos: aprendizaje basado en fenómenos y observaciones cotidianas

The internal geological processes: learning based on everyday observations and phenomena

Autora: Esther Izquierdo Llavall

Directora: Helena Circe Gómez Banzo

1. Introducción	3
1.1. Presentación personal	3
1.2. Presentación del currículum académico	3
1.3. Contexto del centro donde se han realizado los Practicum I y II: IES Domingo Miral.	4
1.4. Presentación del trabajo	4
2. Análisis didáctico de dos actividades realizadas en asignaturas del Máster y su aplicación en el Practicum II	5
2.1. Actividad 1. Taller de Rocas	5
2.2. Actividad 2. El magmatismo de rocas: Clase Invertida.	8
3. Propuesta didáctica	9
3.1. Título y nivel educativo	9
3.2. Evaluación inicial	10
3.3. Objetivos del currículum	12
3.4. Justificación (Marco teórico)	14
4. Actividades	15
4.1. Actividad 1: Visualización y caracterización de los límites de placas en Google Earth.	17
4.2. Actividad 2: Experimento sobre el concepto de viscosidad del magma	20
4.3. Actividad 4: Visualización interactiva de terremotos en la aplicación Seismic Explorer	20
4.4. Actividad 5: El comportamiento de las rocas: analogías con materiales comunes y observaciones de lo habitual.	22
4.5. Actividad 6: Modelización analógica de un sistema de pliegues y cabalgamientos	23
5. Análisis de los resultados de aprendizaje y la propuesta didáctica. Propuesta de mejora	26
6. Consideraciones finales	30
7. Referencias	32
Anexo 1: Copia de la prueba escrita realizada a los alumnos	34
Anexo 2: Copia del cuestionario de evaluación	36

Nombre de la alumna:	Esther Izquierdo Llavall
Directora del TFM:	Helena Circe Gómez Banzo
Tutora del Centro de Prácticas II:	Aida López
Centro Educativo:	IES Domingo Miral
Curso en el que se desarrolla la propuesta:	1º de Bachillerato
Tema de la propuesta:	El uso de lo cotidiano en el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra

1. Introducción

1.1. Presentación personal.

Soy Licenciada (2004-2009) y Doctora (2010-2014) en Geología por la Universidad de Zaragoza. He trabajado en diversos proyectos de investigación relacionados con la tectónica, la geología estructural y la geología del subsuelo en distintas cadenas montañosas (Pirineos, Cordillera Ibérica, Tian Shan, Atlas...) y cuencas extensionales (Golfo de Méjico). A lo largo de mi trayectoria profesional he compaginado mi actividad investigadora con actividades docentes en el ámbito universitario y con actividades de divulgación. Esta parte de mi trabajo me resulta muy gratificante, interesante y motivadora.

Como geóloga, científica e investigadora en Geología la situación de la docencia en el ámbito de las Ciencias de la Tierra me preocupa. La docencia en este campo de las ciencias se enfrenta a dificultades crecientes. Una de las más evidentes es la reducción del interés por la ciencia y las actitudes científicas del alumnado con la edad (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2011), que ha provocado en las últimas décadas un descenso continuo de alumnos en los estudios de ciencias y tecnología (Solbes *et al.*, 2007). Probablemente existen causas generales que explican esta situación general de la enseñanza de las ciencias: una valoración social negativa de la ciencia y el uso de técnicas tradicionales de enseñanza que no motivan suficientemente al alumnado.

Dentro de esta situación global, las ciencias de la tierra afrontan dificultades adicionales. La geología ha sufrido una pérdida de peso progresiva en las sucesivas leyes educativas. Se imparte cada vez menos geología. Y este es según mi punto de vista el inicio de un círculo “fatídico”: cada vez menos estudiantes acceden a estudios universitarios en ciencias de la Tierra, cada vez menos profesorado de Educación Secundaria tiene formación en Geología, cada vez existe una cultura geológica general más reducida y cada vez más la sociedad deja de comprender porqué es importante mantener una docencia e investigación de calidad en el ámbito de las Ciencias de la Tierra.

Pero la situación es afortunadamente reversible. Son muchas las acciones que se pueden llevar a cabo en el conjunto de la sociedad en general y en el ámbito de la escuela y del instituto en particular. En este último aspecto, la labor del Máster de profesorado de Educación Secundaria es indiscutible. La formación recibida durante este curso académico nos ha servido para asentar las bases del cómo (cómo transmitir, motivar, captar la atención, resolver los conflictos, evaluar...). Nos ha permitido también experimentar y ponernos en situación durante el Practicum I y II. En mi caso, me ha obligado a reflexionar sobre mi propio proceso de aprendizaje de la Geología, reflexión que he utilizado como punto de partida (junto con las pautas, propuestas, conceptos y conocimiento adquirido durante el Máster) para la elaboración de la propuesta incluida en este trabajo.

1.2. Presentación del currículo académico.

Mi tesis doctoral estuvo basada en el estudio estructural y paleomagnético de la parte occidental de la Zona Axial pirenaica. Mi currículo académico e investigador está centrado en los campos de la geofísica, la geología estructural y la tectónica. Acumulo experiencia en el estudio de la geometría del subsuelo y la evolución de diversos sistemas de pliegues y cabalgamientos del planeta. Durante mi trayectoria he trabajado y colaborado con diversas universidades (Universidad de Zaragoza, Universitat de Barcelona, Université de Pau et des Pays de l'Adour) en las que he tenido la oportunidad de impartir docencia en diferentes asignaturas (trabajo de campo, modelización analógica, geofísica, geología del subsuelo, interpretación sísmica...).

Las temáticas trabajadas durante mi trayectoria académica, investigadora y docente son muy acordes con propuesta didáctica y las actividades recogidas en este TFM, que están centradas

en el bloque 8 de la asignatura de Biología y Geología de 1º de Bachillerato. El currículo de la asignatura en este nivel es amplio e incluye varios bloques de geología, que recogen contenidos interrelacionados entre sí y hacen énfasis en la composición, estructura y dinámica del interior terrestre, el análisis de los movimientos de las placas tectónicas y sus consecuencias, la mineralogía, petrología magmática, metamórfica y sedimentaria y la historia geológica de la Tierra. Supone una profundización en los conocimientos previamente adquiridos por los alumnos durante la Educación Secundaria Obligatoria (historia geológica, tectónica de placas), aunque también implica el aprendizaje de una considerable cantidad de nuevos conceptos relacionados con la petrología magmática, metamórfica y sedimentaria.

En concreto, el bloque 8 de la asignatura incluye contenidos relacionados con 4 grandes apartados:

- El magmatismo: clasificación de las rocas magmáticas, rocas magmáticas de interés, el magmatismo y la tectónica de placas.
- El metamorfismo: procesos metamórficos, físico-química del metamorfismo, tipos de metamorfismo, clasificación de las rocas metamórficas, el metamorfismo en relación con la tectónica de placas.
- Las rocas y procesos sedimentarios: identificación e interpretación de facies sedimentarias, clasificación y génesis de las principales rocas sedimentarias.
- La deformación de las rocas: comportamiento mecánico de las rocas y tipos de deformación (pliegues y fallas).

1.3. Contexto del centro donde se han realizado los Practicum I y II: IES Domingo Miral.

El Instituto de Educación Secundaria Domingo Miral es un centro público situado en la localidad de Jaca. Jaca (Huesca) es una población de unos 13000 habitantes, cabecera de la comarca de la Jacetania. La ciudad cuenta con otros dos IES, uno público (IES Pirineos) y otro concertado (Escuelas Pías), que se nutren de los alumnos procedentes de los centros de educación primaria de Jaca y de otros centros situados en otras localidades de la comarca de la Jacetania (Villanúa, Canfranc Estación...). Mencionar entre estos centros de primaria el CP San Juan de la Peña, que está situado en las proximidades del IES Domingo Miral y adscrito al mismo.

El IES Domingo Miral es un centro educativo consolidado en la ciudad de Jaca que, hasta la creación del IES Pirineos en fechas relativamente recientes, ha sido el único referente en cuanto a educación pública se refiere en toda la comarca. El IES Domingo Miral inició su actividad en el curso 1961-62 como centro de Bachillerato. Actualmente oferta toda la etapa de Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO), Bachilleratos de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud y de Humanidades y Ciencias Sociales. Oferta además Bachillerato Nocturno y Enseñanzas Especiales de Deportes de Invierno (técnicos deportivos de varios niveles en Esquí alpino y Snowboard). El centro oferta dos posibles programas lingüísticos: a) Programa Currículo integrado Convenio MEC- British Council y b) Modelo Brit-Aragón en inglés con el francés como segunda lengua extranjera.

La mayor parte (96.7%) de los alumnos del IES Domingo Miral proceden de la propia comarca (80.6% de la ciudad de Jaca y 16.1% de otros municipios). Las familias de dichos alumnos son de clase en general, media y trabajan mayoritariamente en negocios propios o como empleados públicos. En las enseñanzas de régimen general hay un 18% de inmigrantes; la mayoría de ellos son de habla hispana y están escolarizados en la enseñanza obligatoria. En lo que respecta a alumnos con necesidades específicas de apoyo, hay seis alumnos con necesidades educativas especiales en la ESO.

El aula en la que impartí docencia durante el Practicum II (referida en varios de los apartados de este trabajo) fue el aula de 1º de Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud. Se trata de un grupo de 18 estudiantes (13 chicos y 5 chicas) con asistencia estable. El grado de interés por el aprendizaje en el grupo era en general elevado (excepto en el caso de uno de los alumnos), aunque su participación en clase resultaba moderada a baja. Sus resultados académicos eran aceptables, con un porcentaje de aprobados en el segundo trimestre del 82%. Entre los aprobados, el 40% de los alumnos obtuvieron calificaciones en la asignatura de Notable o Sobresaliente en la segunda evaluación.

1.4. Presentación del trabajo.

El presente trabajo recoge una propuesta didáctica adaptada a un aula de Biología y Geología de 1º de bachillerato con características similares a las del grupo en el que impartí docencia durante el Practicum II (asistencia estable, resultados académicos y grado de interés aceptable). La propuesta se centra en los contenidos del currículo relacionados con los procesos geológicos internos (apartado 1b) y parte de un análisis de las dificultades de aprendizaje e ideas previas detectadas en diversos estudios bibliográficos (apartado 3b). Considera también el nivel y las dificultades concretas del aula y, partiendo de las dificultades, características y carencias del grupo específico plantea una serie de: (i) objetivos didácticos, acordes con los criterios de evaluación recogidos en el currículo oficial (apartado 3c) y (2) actividades (apartado 4). Entre dichas actividades, la propuesta considera numerosos trabajos experimentales, de trabajo en grupo y de aprendizaje cooperativo, y utiliza los recursos cotidianos y la observación de los fenómenos comunes como hilo conductor. Parte de las actividades propuestas fueron realizadas con el grupo de referencia durante el Practicum II (apartado 2). Su puesta en práctica, aunque parcial, permite realizar un análisis de los resultados, una evaluación del grado de logro de los objetivos didácticos (apartado 5) y una serie de propuestas de mejora (apartado 6).

2. Análisis didáctico de dos actividades realizadas en asignaturas del Máster y su aplicación en el Practicum II

2.1. Actividad 1. Taller de Rocas

Una de las prácticas desarrolladas en la asignatura de Diseño de actividades de aprendizaje de Biología y Geología consistió en la realización de una salida urbana en el casco histórico de Zaragoza con objeto de visualizar y reconocer diferentes tipos de rocas ornamentales. En la actividad se trabajó en un contexto de trabajo en grupo con expertos: cada uno de los grupos contaba con un “experto” que guiaba la práctica y dinamizaba el diálogo y la discusión. Para realizar la actividad contamos con un mapa de la zona del casco urbano y fotos de diferentes rocas significativas, situadas en distintos edificios, plazas, monumentos, etc. Utilizamos tablas de visualización de rocas para describir y clasificar las muestras observadas y realizamos un trabajo en formato video adaptado al nivel educativo de 1º de ESO.

Esta actividad realizada durante el Máster fue adaptada al contexto del centro y del aula en la que realicé el Practicum II. La adaptación requirió, en primer lugar, de una adaptación de la propuesta al entorno urbano de Jaca: diseñe un recorrido desde el IES Domingo Miral hasta la zona de la catedral de Jaca que incluía paradas en seis puntos de observación diferentes (Fig. 1) en los que pueden verse diferentes tipos de rocas ígneas y sedimentarias.



Fig. 1. Imagen de Google Earth con ubicación de los puntos de observación e indicación de los tipos de rocas que pueden verse en cada uno de ellos.

Durante la actividad, los alumnos trabajaron en grupos de 3, realizaron las observaciones pautadas en la guía de observación incluida en la Fig. 2 (adaptada de la propuesta de guía utilizada en el Máster) y clasificaron las rocas utilizando los diagramas de flujo de la Fig. 3 (Bach *et al.*, 2012).

ROCA 1	
¿Es homogénea o heterogénea?	
Color de la roca (o de los diferentes componentes que la forman)	
¿Tiene foliación?	
¿Tiene fósiles y/o estructuras sedimentarias? Descríbelas	
¿Puedes diferenciar distintos minerales? ¿Qué color, tamaño, forma tienen?	
¿Está formada por fragmentos de otras rocas? ¿Qué tamaños tienen?	
¿Qué textura tiene (microcristalina, vítrea, cristalina, granular, masiva...)?	
¿Contiene calcita? (¿Reacciona con el HCl?)	
Otras observaciones que consideres importantes Utilizando el diagrama de flujo correspondiente, clasifica la roca	

Fig. 2. Guía de observación de rocas utilizada durante la actividad.

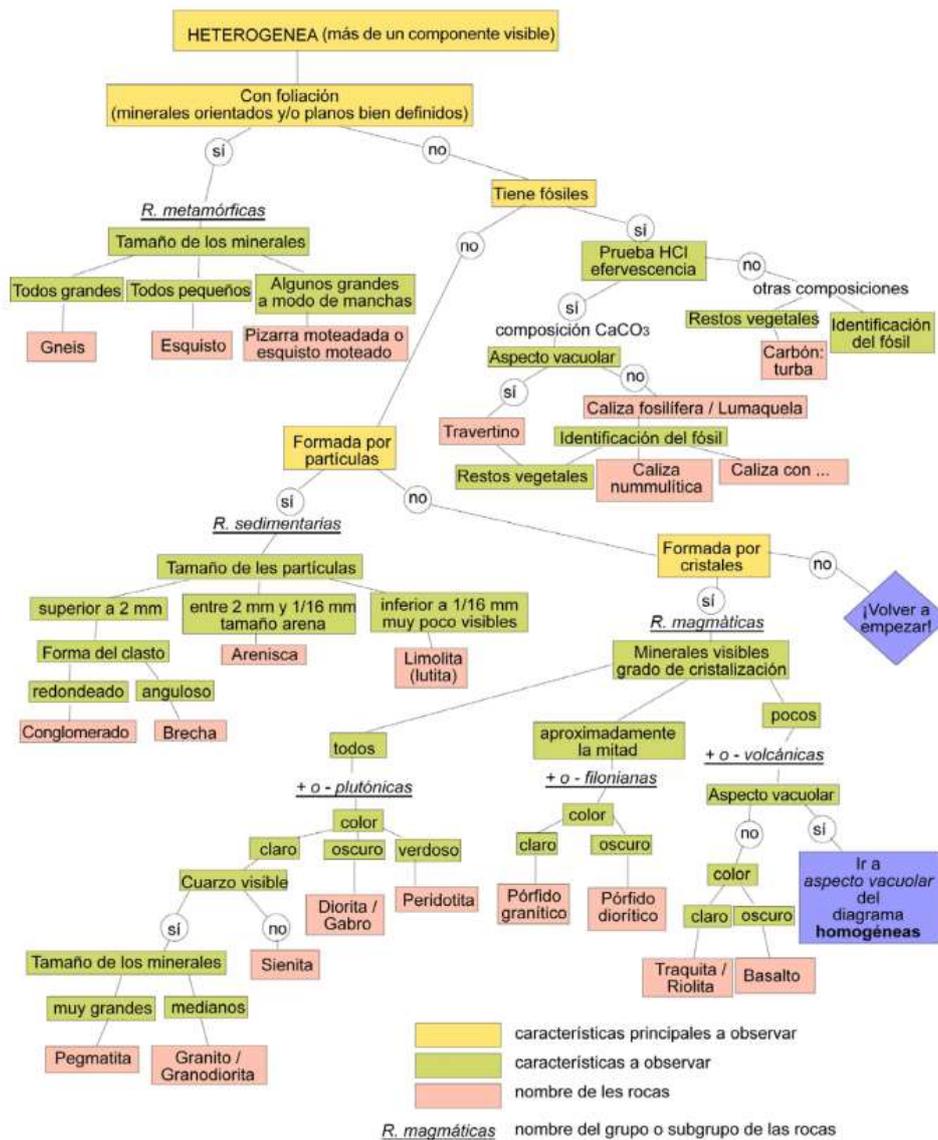


Fig. 3. Diagrama de flujo para la clasificación de rocas heterogéneas (tomado de Bach *et al.*, 2012).

La evaluación de la actividad se realizó mediante observación y registro del grado de participación de los alumnos y mediante revisión del trabajo de clase (fichas de observación incluidas en la Fig. 2).

Las rocas ornamentales y de construcción en los entornos urbanos suelen ser variadas y constituyen un recurso cercano, público y accesible con un enorme potencial didáctico, que permite ampliar la visión aplicada de la geología. Estas rocas se encuentran generalmente pulidas, lo que facilita la observación directa de minerales, fósiles y estructuras sedimentarias. La actividad realizada contribuyó en la consolidación de numerosos conceptos geológicos vistos en el aula (textura, tamaños de grano, estructuras sedimentarias, tipos de rocas ígneas y minerales más abundantes en las mismas, etc.) y potenció la capacidad de observación del alumnado, así como el trabajo en grupo y autónomo (Fig. 4). Permitió además a los alumnos reflexionar sobre la importancia de las rocas en la sociedad y la vida cotidiana.



Fig. 4. Fotos tomadas durante el taller de rocas.

2.2.Actividad 2. El magmatismo de rocas: Clase Invertida.

La metodología de “Clase Invertida” propone que los alumnos estudien y preparen las lecciones fuera del aula, accediendo en casa a los contenidos de las asignaturas, para posteriormente en el aula poder realizar actividades más participativas (presentaciones, debates, trabajos en grupo, etc.). Durante el Máster, aplicamos esta metodología en la asignatura Sociedad, Familia y Procesos Grupales, en una de las sesiones de la parte de Sociología: en grupos, buscamos información sobre diversos temas relacionados con la asignatura y preparamos argumentos para realizar un debate con el resto de grupos en el horario de clase.

Durante el Practicum II, trabajamos en modalidad de clase invertida los contenidos del tema relacionados con el magmatismo. Dividí la clase en tres grupos de trabajo y los contenidos que quería que trabajasen en tres bloques (1. magma: tipos, origen y evolución, 2. volcanes: productos volcánicos, tipos de erupciones y estructuras volcánicas y 3. rocas ígneas plutónicas y volcánicas). Cada grupo seleccionó un tema y preparó una presentación breve basada en los apuntes de la asignatura, utilizando un máximo de 5 diapositivas de PowerPoint. Los alumnos realizaron la lectura de los apuntes y prepararon las diapositivas en casa y expusieron sus presentaciones en clase durante un máximo de 15 minutos. Todos los alumnos presentaron oralmente una pequeña parte del material que habían preparado. Las presentaciones de cada uno de los grupos sirvieron como explicación de parte del tema a sus compañeros, que pudieron formularles preguntas y plantearles dudas tras cada una de las exposiciones. La actividad nos permitió establecer una discusión en clase y centrarnos en aquellos aspectos del tema que les habían resultado más complicados (como por ejemplo la diferenciación magmática).

Para evaluar la exposición de los alumnos utilicé la rúbrica de evaluación incluida en la Fig. 5, que permite evaluar el trabajo sobre los contenidos y también las habilidades comunicativas y expositivas de los alumnos.

PRUEBA ORAL - CRITERIOS DE EVALUACIÓN		4	3	2	1
		Exce-lente	Bien	Sufi-ciente	Insufi-ciente
Conocimiento del Tema					
1. Conocimiento del tema	¿Ha mostrado conocimiento del tema durante la presentación?				
2. Preparación	¿Ha mostrado que se había preparado la presentación?				
3. Respuestas	¿Ha sabido contestar las preguntas de sus compañeros?				
4. Nueva información	¿Ha proporcionado nueva información aparte de las diapositivas?				
Postura y contacto visual					
5. Lenguaje corporal	¿Ha sido correcto su lenguaje corporal?				
6. Seguridad	¿Ha mostrado seguridad?				
7. Contacto visual	¿Ha mantenido contacto visual con todo el grupo durante toda la presentación?				
Voz					
8. Vocalización, dicción y entonación	¿Ha pronunciado correctamente y vocalizando? ¿Los errores de pronunciación han dificultado la comprensión?				
9. Tono y volumen	¿El tono y volumen han sido adecuados?				
10. Velocidad	¿Ha hablado demasiado deprisa o demasiado lento?				
11. Fluidez	¿Ha sido fluido?				
12. Silencios	¿Ha hecho un buen uso de los silencios?				
Lenguaje, gramática, vocabulario y estilo					
13. Errores	¿Los errores gramaticales han dificultado la comprensión? X3				

Fig. 5. Rúbrica utilizada para la evaluación de las presentaciones orales de los alumnos.

La actividad de “Clase Invertida” funcionó de manera muy satisfactoria. Los alumnos asumieron la responsabilidad de explicar a sus compañeros parte de los contenidos del tema y se implicaron en la elaboración de presentaciones que fueran claras y completas. La actividad fomentó el trabajo en grupo, la participación del alumnado y el desarrollo de habilidades comunicativas. Permitió además obtener más tiempo en clase para la discusión entre alumnos y la resolución de dudas concretas y dificultades de comprensión o aprendizaje específicos.

3. Propuesta didáctica

3.1. Título y nivel educativo.

La propuesta educativa y las actividades incluidas en este trabajo están diseñadas para un aula de Biología y Geología de 1º de Bachillerato. La propuesta está focalizada en los contenidos relacionados con los procesos geológicos internos (magmatismo, metamorfismo y deformación) y plantea su enseñanza y aprendizaje a través de la observación y el análisis de objetos y fenómenos cotidianos. El título seleccionado es el incluido en la portada de este trabajo: Los procesos geológicos internos: aprendizaje basado en fenómenos y observaciones cotidianas (*The internal geological processes: learning based on everyday observations and phenomena*).

3.2. Evaluación inicial.

Las dificultades de aprendizaje e ideas previas en relación al tema seleccionado son variadas y están ampliamente descritas en la bibliografía. Estudios previos (Carrillo-Rosúa *et al.*, 2014) afirman que “el interior terrestre y su conexión con procesos geológicos como el magmatismo

o el metamorfismo es un terreno abonado para las ideas previas erróneas”. Estas ideas previas son comunes en el alumnado de educación primaria, secundaria, de bachillerato o de los primeros años universitarios (Francek, 2013) y también entre el profesorado (Carrillo-Rosúa *et al.*, 2014). Entre estas ideas previas, la investigación didáctica ha puesto de manifiesto que las más frecuentes se encuentran las relacionadas con el estado físico de las distintas capas terrestres (Francek, 2013) y su relación con el magmatismo. Diferentes estudios revelan que más de un 80% de los alumnos sitúa el origen del magma en el núcleo terrestre (Carrillo-Rosúa *et al.*, 2010). Estas ideas erróneas se extienden ampliamente entre el profesorado: las encuestas realizadas por Carrillo-Rosúa *et al.* (2014) ponen de manifiesto que un 69% de los alumnos de Magisterio de Educación Primaria y un 35% de los alumnos del Máster de Profesorado de Secundaria también sitúan el magma en el núcleo.

Además, son también comunes las ideas erróneas y concepciones alternativas en relación a la sismicidad y el metamorfismo. En el caso de la sismicidad, la existencia de una relación entre el calor y la generación de terremotos es una idea errónea frecuente que prevalece en grupos de alumnos de todas las edades (Francek, 2013). Es también común la concepción errónea de que la lava puede emanar a través de fallas generadas durante terremotos, estando esta idea alimentada por películas populares como Volcano (Francek, 2013). La enseñanza del metamorfismo en educación secundaria se enfrenta igualmente a numerosas ideas previas relativas a la estructura de la materia, la acción de los agentes metamórficos y la integración del metamorfismo en el ciclo geológico (Figuereido y Marqués, 2005). Estas ideas aparecen resumidas en la Tabla 1, extraída del estudio de Figuerido y Marqués (2005), que diferencia entre ideas erróneas, sin capacidad explicativa, y concepciones alternativas, alejadas de los conceptos científicos aceptados, pero con poder explicativo de los fenómenos estudiados.

Subtema del “Metamorfismo”	Ideas Erróneas	Concepciones Alternativas
<i>Estructura de la materia</i>	<ul style="list-style-type: none"> * Las rocas metamórficas no están formadas por minerales. * El aspecto exterior de las rocas metamórficas es el principal criterio que permite su clasificación. 	* Durante el proceso metamórfico no transcurren alteraciones estructurales o mineralógicas relevantes.
<i>Acción de los agentes de metamorfismo</i>	La presión litosférica provoca la reorganización de los minerales en planos definidos por una determinada dirección.	* Los agentes de dinámica externa son los principales responsables de la formación de rocas metamórficas.
<i>Integración en el ciclo geológico</i>	* El proceso metamórfico no se encuentra integrado en el ciclo geológico.	* Durante el proceso metamórfico transcurre la fusión de las rocas iniciales, y la posterior consolidación de estos materiales da origen a las rocas metamórficas.

Tabla 1. Tabla resumen de las ideas erróneas y concepciones alternativas detectadas en una muestra de 244 alumnos portugueses de 4º de ESO (extraída de Figuerido y Marqués, 2005).

La tectónica de placas es una de las piedras angulares del estudio de las ciencias de la Tierra. Estudios previos (Francek, 2013) indican que existe un grado de comprensión muy reducido sobre: la naturaleza de los límites de placas, el papel del calor interno terrestre como motor de la tectónica de placas y la velocidad de movimiento y composición de las placas. En este último

aspecto, es frecuente que los alumnos piensen que las placas están compuestas solamente por corteza cuando en realidad también incluyen la parte superior del manto.

En cuanto al estudio de la deformación de las rocas, el aprendizaje de los conceptos de pliegues y fallas por parte del alumnado de secundaria y bachillerato se enfrenta a diversos obstáculos. Entre ellos destacan (i) la dificultad de transferir hacia la práctica de campo los contenidos conceptuales aprendidos en el aula (Moreira *et al.*, 2002; Martínez-Peña *et al.*, 2005) y (ii) las dificultades topológicas al estudiar objetos de carácter tridimensional y de tamaños variables (Carrillo, 1996). Finalmente, el estudio y observación de rocas (también incluido en el bloque de contenidos considerado en este trabajo) también se enfrenta a dificultades de comprensión específicas como la confusión entre los términos textura y tacto o la dificultad de distinguir entre minerales de tonalidades similares (Delgado-Iglesias, 2012).

Además de estas dificultades de aprendizaje específicas, el estudio de la tectónica de placas y su relación con los procesos de deformación, sismicidad, magmatismo y metamorfismo se encuentra con otras dificultades de aprendizaje más generales y más profundas (Pedrinaci, 1998), entre ellas:

- La perspectiva estática de la Tierra. El alumnado tiende a confundir la lentitud de los procesos geológicos (en relación a la escala temporal humana) con el estatismo
- La “propensión al catastrofismo” de los alumnos de secundaria (Pedrinaci, 1993), entendida como la tendencia a justificar cambios importantes a través de eventos catastróficos como enormes erupciones volcánicas o grandes terremotos
- La dificultad de comprensión de valores temporales de la magnitud requerida en geología, que se suma a las dificultades asociadas a los conceptos de sucesión causal, duración y cronología, importantes en la interpretación de cortes geológicos
- La inaccesibilidad a los procesos internos, que se producen en condiciones de presión y temperatura muy alejadas de la experiencia humana e irreproducibles en el laboratorio
- La diversidad y amplitud de las escalas espaciales, así como la necesidad de establecer correlaciones entre escalas microscópicas (por ejemplo, un cambio mineralógico) con escalas de varios cientos de kilómetros (por ejemplo, un proceso de subducción).

Durante el Practicum II, se realizó una evaluación inicial que permitió establecer el nivel académico de los alumnos y detectar algunas de las ideas previas o dificultades de aprendizaje reconocidas en los estudios previamente citados. Esta evaluación inicial se llevó a cabo mediante un cuestionario Kahoot de 15 preguntas (de verdadero-falso o de varias opciones), todas ellas basadas en los contenidos incluidos en los apuntes que el centro provee a los alumnos de 4º de ESO. Las preguntas del cuestionario relacionadas con los procesos geológicos internos y los porcentajes de respuestas incorrectas están incluidas en la Tabla 2.

IDEA PREVIA/ DIFICULTAD DE APRENDIZAJE	PREGUNTA	RESULTADO (% resp. incorrectas)
Estado físico capas terrestres/origen del magma	V-F: El núcleo terrestre está dividido en una parte exterior sólida y una parte interior líquida	66%
Naturaleza de los límites de placas	4 opciones. Los límites entre placas litosféricas pueden ser: a) Divergentes, convergentes y transformantes, b) Divergentes, convergentes e intraplaca, c) Divergentes, destructivos y transformantes, d) Transformantes y deformantes	25 % (opción b)

Integración del metamorfismo en el ciclo geológico	V-F. Las rocas metamórficas proceden de la transformación de rocas ígneas y sedimentarias previas	31%
Naturaleza de los límites de placas	4 opciones. En los límites convergentes entre una placa oceánica y una placa continental se forman: a) arcos de islas, b) orógenos de colisión, c) orógenos térmicos, d) fosas oceánicas	94%
Naturaleza de los límites de placas	4 opciones. La litosfera oceánica se genera en las zonas de dorsal y se destruye en las zonas de: a) Subducción, b) Obducción, c) Transición, d) Ninguna de las anteriores	6%
Movimiento de las placas	V-F. La corteza oceánica es más joven cerca de las zonas de dorsal y más vieja en las zonas de subducción	31%
Naturaleza de los límites de placas	V-F. El Pirineo es un orógeno de colisión formado por el choque entre las placas ibérica y euroasiática	66%
Composición de las placas	2 opciones. La corteza terrestre puede ser oceánica o continental, ¿Cuál de las dos es más densa?	69%

Tabla 2. Resultados de la evaluación inicial.

La encuesta inicial constató un buen grado de comprensión sobre los tipos de límites de placas y el lenguaje científico apropiado para referirse a ellos. Sin embargo, también reveló dificultades generalizadas (más de un 65% de respuestas incorrectas) en aspectos como el estado físico de las capas del interior terrestre, los procesos y estructuras que se forman en los límites de placas o las propiedades de la corteza terrestre.

3.3. Objetivos del currículo.

Los objetivos didácticos de la propuesta recogida en este trabajo son coherentes con los criterios de evaluación establecidos en el currículo oficial y pretenden afrontar parte de los problemas de aprendizaje, concepciones erróneas e ideas alternativas descritos en el apartado anterior. La siguiente Tabla (Tabla 3) recoge dichos objetivos didácticos y su relación con los criterios de evaluación.

Bloque temático	Criterios de Evaluación	Objetivos didácticos
Magmatismo	Crit.BG.8.1. Relacionar el magmatismo y la tectónica de placas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprender el movimiento de las placas y los tipos de límites entre placas litosféricas 2. Relacionar la distribución geográfica del vulcanismo y plutonismo con los procesos geológicos característicos de los límites de placas
Magmatismo	Crit.BG.8.2. Categorizar los distintos tipos de magmas en base a su composición y distinguir los factores que influyen en el magmatismo	<ol style="list-style-type: none"> 3. Comprender el concepto de viscosidad de un magma 4. Relacionar el contenido de sílice de un magma con su viscosidad y con la coloración de las rocas que genera

		5. Leer y explicar gráficos P-T que ilustren la evolución de un magma a través de las curvas de solidus y liquidus.
Magmatismo	Crit.BG.8.3. Reconocer la utilidad de las rocas magmáticas, analizando sus características, tipos y utilidades.	6. Diferenciar visualmente entre texturas vítreas, porfídicas y cristalinas de grano fino o grueso 7. Establecer una relación entre la textura de las rocas, el tiempo requerido para la cristalización del magma y el tipo de rocas ígneas
Magmatismo	Crit.BG.8.4. Establecer las diferencias de actividad volcánica, asociándose al tipo de magma	8. Predecir la violencia eruptiva y los tipos de materiales volcánicos expulsados en función del contenido en sílice de los magmas emitidos
Magmatismo/ Sismicidad	Crit.BG.8.5. Diferenciar los riesgos geológicos derivados de los procesos internos. Vulcanismo y sismicidad	9. Comprender la sismicidad a escala global y la relación entre profundidad y magnitud de los terremotos y su distribución en los diferentes límites de placas 10. Comprender las escalas de medida de magnitud/intensidad sísmica y de riesgo volcánico
Metamorfismo	Crit.BG.8.6. Detallar el proceso de metamorfismo, relacionando los factores que le afectan y sus tipos.	11. Argumentar cuáles son los principales procesos físico-químicos que ocurren durante el metamorfismo de las rocas 12. Representar en un gráfico presión-temperatura los diferentes tipos de metamorfismo e identificar en qué tipos de límites de placas se producen
Metamorfismo	Crit.BG.8.7. Identificar rocas metamórficas a partir de sus características y utilidades.	13. Reconocer visualmente una textura foliada en una roca metamórfica y distinguirla de una textura masiva
Deformación	Crit.BG.8.11. Analizar los tipos de deformación que experimentan las rocas, estableciendo su relación con los esfuerzos a que se ven sometidas	14. Comprender el significado de los gráficos esfuerzo-deformación en rocas con comportamiento dúctil y frágil 15. Relacionar los diferentes tipos de esfuerzos (extensivos, compresivos, de cizalla) con las estructuras que generan 16. Reconocer los factores (temperatura, tiempo de deformación, profundidad, presión) que pueden afectar al comportamiento dúctil o frágil de las rocas 17. Identificar el comportamiento dúctil/frágil en materiales no rocosos de la vida cotidiana

Deformación	Crit.BG.8.12. Representar los elementos de un pliegue y de una falla.	<p>18. Ilustrar gráficamente, en corte y tridimensionalmente, diferentes tipos de pliegues y de fallas, identificando los distintos elementos geométricos que los caracterizan (plano axial, eje, ángulo de buzamiento, etc.).</p> <p>19. Comprender cómo varía la edad relativa de los estratos afectados por diferentes tipos de estructuras tectónicas</p>
-------------	---	---

Tabla 3. Objetivos didácticos de la propuesta, relacionados con los criterios de evaluación incluidos en el currículo oficial.

3.4. Justificación (Marco teórico)

La propuesta didáctica diseñada pretende trabajar los objetivos didácticos planteados a través del uso combinado de diferentes actividades y metodologías. En términos generales, la propuesta tiene un enfoque constructivista: parte del nivel inicial de los alumnos (determinado en la evaluación inicial), fomenta una construcción propia del conocimiento y un rol activo del alumnado, y plantea actividades que recurren al uso de lo cotidiano como recurso didáctico. Este último aspecto, el del uso de fenómenos habituales y el recurso de lo cotidiano (Pozo, 2000; Aragón-Méndez, 2004), promueve la curiosidad innata del alumnado y su interés por encontrar explicaciones racionales a los fenómenos que observa (Aragón-Méndez, 2004). Fomenta además que el alumno establezca conexiones entre el pensamiento científico y el cotidiano que le permitan resolver problemas fuera del ámbito académico a partir del uso de conceptos científicos. Desde un punto de vista general, las propuestas didácticas centradas en el recurso de lo cotidiano plantean diferentes aproximaciones que han sido adaptadas e incorporadas en las actividades de esta propuesta. Algunos de los principales recursos son (Aragón-Méndez, 2004):

- Recurrir habitualmente a imágenes conocidas por los alumnos
- Contextualizar las cuestiones propuestas a los alumnos, utilizando enunciados que puedan enmarcar dentro de un contexto real
- Usar analogías y modelos análogos. En el caso de nuestra propuesta, este recurso es especialmente útil de cara a explicar el comportamiento de las rocas (dúctil o frágil) y la deformación que les afecta.
- Realizar actividades prácticas con materiales comunes
- Utilizar noticias de prensa y hechos de actualidad

Desde un punto de vista más específico, la propuesta didáctica recogida en este trabajo plantea la utilización de:

- Recursos del entorno cotidiano como las rocas ornamentales del entorno urbano. Numerosas propuestas didácticas (Pérez y Santana, 1993; Martínez-Martínez, 2019 entre otras) contemplan el uso de este recurso desde un punto de vista transversal (petrológico, medioambiental, histórico, arquitectónico...). Las rocas ornamentales suelen estar pulidas y representan una alternativa a la utilización de muestras de mano, que generalmente presentan un grado de dificultad elevado en el reconocimiento de sus minerales y difícilmente muestran las variaciones espaciales típicas de una misma litología (Pérez y Santana, 1993). En las rocas ornamentales es sin embargo más fácil observar constituyentes minerales, relaciones entre granos y estructuras. Permiten una clasificación más rigurosa y razonada de las muestras rocosas y un acercamiento a la realidad que rodea al alumno.

- Modelos experimentales en los que se utilizan materiales comunes. Son también numerosas las propuestas didácticas que contemplan el estudio experimental de fenómenos geológicos a través de experimentos en los que se emplean materiales cotidianos. Este tipo de propuestas se centran en la creación de modelos geológicos que pueden aplicarse al estudio del volcanismo y la estructura del interior terrestre (Ejarque-Ortiz *et al.*, 2016), el estudio de la deformación (Murcia-López y Crespo-Blanc, 2008) o el estudio del origen de las rocas y el ciclo geológico (Álvarez y García de la Torre, 1996). Entre estos modelos, los modelos analógicos que reproducen sistemas de pliegues y cabalgamientos, sistemas de fallas normales o zonas de cizalla (Crespo-Blanc y Pérez-Ramos, 2002; Murcia-López y Crespo-Blanc, 2008), permiten reproducir a la escala del laboratorio diferentes tipos de estructuras geológicas desarrolladas en contextos de deformación compresiva o extensiva, o límites transformantes. Los modelos analógicos permiten visualizar el desarrollo progresivo de pliegues y fallas en el “tiempo” y tienen un carácter tridimensional, por lo que permiten trabajar las dificultades de aprendizaje de tipo topológico (Carrillo, 1996). Permiten además simular topografías y obtener “cortes” geológicos (Crespo-Blanc y Pérez-Ramos, 2002), de forma que pueden utilizarse como recurso en la enseñanza de la lectura de mapas geológicos y la interpretación y construcción de cortes.

- Recursos didácticos virtuales y TICs diversos, entre ellos varias aplicaciones como Google Earth, GeoMapApp, Trnio o Sketchfab. Numerosas propuestas didácticas en las ciencias de la Tierra recurren al uso de Google Earth (de Contreras, 2006; Alfaro *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2012 entre otros) como recurso interactivo para buscar y observar en 3D imágenes reales de estructuras geológicas de diversa escala (formas geomorfológicas, volcanes, pliegues, fallas). La observación de imágenes tridimensionales de estructuras geológicas facilita que los alumnos establezcan una correlación entre los contenidos conceptuales aprendidos en el aula y el aspecto real de las mismas (aunque en este caso sea una realidad digital) y permite trabajar las dificultades de aprendizaje de tipo topológico, asociadas al estudio de objetos complejos, tridimensionales y de diferentes escalas (Carrillo, 1996). Sobre Google Earth pueden superponerse mapas geológicos para su visualización 3D, lo que ayuda a los alumnos en el desarrollo de habilidades relacionadas con la lectura de mapas geológicos y la construcción e interpretación de cortes geológicos. Adicionalmente, las aplicaciones móviles Trnio y Sketchfab (Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016) permiten construir, a partir de fotografías, imágenes tridimensionales de objetos (en nuestro caso pueden ser imágenes de muestras de rocas o de los modelos analógicos contruidos) que pueden compartirse a través de una biblioteca de acceso público, donde también pueden visualizarse los modelos tridimensionales disponibles de estructuras y especímenes rocosos.

Los recursos didácticos considerados en la propuesta recogida en este trabajo (rocas ornamentales urbanas, modelos experimentales, modelos analógicos, recursos didácticos virtuales) son adecuados para el diseño de actividades cooperativas, experimentales y de trabajo en grupo como las detalladas en el siguiente apartado del trabajo. El uso de estas metodologías de trabajo (en combinación con explicaciones en modalidad de clase magistral) fomenta la participación del alumnado y su implicación en el proceso de aprendizaje.

4. Actividades

La propuesta didáctica recogida en este trabajo incluye un total de 6 actividades en las que se trabajan los objetivos didácticos previamente descritos (Tabla 4). Las actividades se utilizaron como complemento a explicaciones más o menos largas en modalidad de clase magistral, para las cuales se utilizó como material base los apuntes y presentaciones de los que el centro disponía.

OBJETIVO DIDÁCTICO	ACTIVIDAD
1. Comprender el movimiento de las placas y los tipos de límites entre placas litosféricas. 2. Relacionar la distribución geográfica del vulcanismo y plutonismo con los procesos geológicos característicos de los límites de placas.	<u>Actividad 1:</u> Visualización y caracterización de límites de placas en Google Earth.
3. Comprender el concepto de viscosidad de un magma. 4. Relacionar el contenido de sílice de un magma con su viscosidad y con la coloración de las rocas que genera. 5. Leer y explicar gráficos P-T que ilustren la evolución de un magma a través de las curvas de solidus y liquidus.	<u>Actividad 2:</u> Experimento sobre el concepto de viscosidad del magma
6. Diferenciar visualmente entre texturas vítreas, porfídicas y cristalinas de grano fino o grueso. 7. Establecer una relación entre la textura de las rocas, el tiempo requerido para la cristalización del magma y el tipo de rocas ígneas.	<u>Actividad 3:</u> Taller de rocas
8. Predecir la violencia eruptiva y los tipos de materiales volcánicos expulsados en función del contenido en sílice de los magmas emitidos.	<u>Actividad 2:</u> Experimento sobre el concepto de viscosidad del magma
9. Comprender la sismicidad a escala global y la relación entre profundidad y magnitud de los terremotos y su distribución en los diferentes límites de placas 10. Comprender las escalas de medida de magnitud/intensidad sísmica y de riesgo volcánico	<u>Actividad 4:</u> Visualización interactiva de terremotos en la aplicación Seismic Explorer
11. Argumentar cuáles son los principales procesos físico-químicos que ocurren durante el metamorfismo de las rocas 12. Representar en un gráfico presión-temperatura los diferentes tipos de metamorfismo e identificar en qué tipos de límites de placas se producen	Objetivos trabajados solamente en modalidad de clase magistral
13. Reconocer visualmente una textura foliada en una roca metamórfica y distinguirla de una textura masiva	<u>Actividad 3:</u> Taller de rocas
14. Comprender el significado de los gráficos esfuerzo-deformación en rocas con comportamiento dúctil y frágil. 15. Relacionar los diferentes tipos de esfuerzos (extensivos, compresivos, de cizalla) con las estructuras que generan 16. Reconocer los factores (temperatura, tiempo de deformación, profundidad, presión) que pueden afectar al comportamiento dúctil o frágil de las rocas 17. Identificar el comportamiento dúctil/frágil en materiales no rocosos de la vida cotidiana	<u>Actividad 5:</u> El comportamiento de las rocas: analogías con materiales comunes y observaciones de lo habitual.

<p>18. Ilustrar gráficamente, en corte y tridimensionalmente, diferentes tipos de pliegues y de fallas, identificando los distintos elementos geométricos que los caracterizan (plano axial, eje, ángulo de buzamiento, etc).</p> <p>19. Comprender cómo varía la edad relativa de los estratos afectados por diferentes tipos de estructuras tectónicas.</p>	<p><u>Actividad 6:</u> Modelización analógica de un sistema de pliegues y cabalgamientos</p>
---	--

Tabla 4. Actividades propuestas en relación a los diferentes objetivos didácticos considerados.

Todas las actividades descritas en este trabajo están adaptadas al aula específica de 1º de bachillerato en la que impartí docencia durante el Practicum II. El grupo estaba formado por 18 estudiantes con asistencia estable y un grado de interés en general elevado. El ambiente de aula era muy bueno y, aunque la participación individual en la clase era baja, el grupo de alumnos funcionaba bien y participaba activamente cuando se planteaban actividades de trabajo en grupo. Los resultados académicos del grupo eran en general buenos, aunque varios estudiantes suspendieron la asignatura durante el segundo trimestre. El grado de interés entre estos alumnos con peores resultados académicos no era menor que el del resto de la clase, a excepción de un estudiante con comportamiento moderadamente disruptivo.

A nivel de los contenidos considerados en la propuesta didáctica, la encuesta inicial reveló dificultades generalizadas en relación con los procesos (sismicidad, magmatismo, metamorfismo, deformación) y estructuras (cuencas, cadenas montañosas, fallas y pliegues) que se forman en los límites de placas. Parte de las actividades expuestas en este trabajo se centran en trabajar algunos de los conceptos relacionados con estos contenidos. Además, la propuesta de secuenciación de actividades, tuvo en cuenta que durante el curso académico 2019/2020, el grupo de alumnos había trabajado principalmente los contenidos relacionados con el marco global de la tectónica de placas. La encuesta inicial reveló un buen grado de comprensión sobre los tipos de límites de placas y el lenguaje científico apropiado para referirse a ellos, lo que permitió utilizarlos como un punto de referencia sólido (actividad 1) para enmarcar los nuevos conceptos relacionados con el magmatismo, la sismicidad, el metamorfismo y la deformación.

Las actividades 2, 4, 5 y 6 están centradas en aspectos específicos de los bloques temáticos del magmatismo, la sismicidad y la deformación de las rocas, mientras las actividades 1 y 3 son más transversales e integran contenidos de varios de los bloques temáticos mencionados. De estas actividades, la número 3 (taller de observación de rocas) es una de las actividades adaptadas de asignaturas del Máster. Esta actividad queda descrita en detalle en el apartado 2 de este trabajo. El resto de actividades quedan descritas en los siguientes subapartados.

4.1. Actividad 1: Visualización y caracterización de límites de placas en Google Earth.

El objetivo principal de esta actividad es que los alumnos comprendan las características principales de los límites de placas transformantes, divergentes y convergentes y analicen cuál es su distribución a nivel planetario (Tabla 4). La actividad trabaja por tanto los contenidos del bloque 8 relacionados con los tipos de límites de placas y los procesos geológicos que ocurren en ellos (magmatismo, sismicidad, deformación, generación de relieve...). Para ello, esta propuesta didáctica plantea el uso de las aplicaciones Google Earth y GeomapApp (GeoMapApp) para realizar, utilizando diferentes recursos cartográficos digitales, los siguientes ejercicios:

- Ejercicio 1. Proyección del mapa de límites de placas disponible en la página web del USGS (United States Geological Survey; Plate Boundaries KMZ File (usgs.gov)) sobre Google

Earth. Utilizando este mapa proyectado, los alumnos podrán observar la distribución a nivel global de los diferentes límites de placas y su aspecto en fotografía aérea, en zonas tanto continentales como marinas. El mapa seleccionado es un mapa simple que incluye (i) el trazado de los límites de placas y la clasificación de los mismos (convergentes, divergentes o transformantes), (ii) el acrónimo de las diferentes placas tectónicas y (iii) flechas indicativas del movimiento relativo entre ellas (Fig. 6).

- Ejercicio 2. Análisis de la topografía asociada a los diferentes límites de placas. En los libros de texto y apuntes de secundaria, es frecuente el uso de modelos gráficos que ilustran la geometría de los límites de placas en profundidad y en superficie. La topografía asociada a los mismos es un aspecto importante, íntimamente relacionado con procesos geológicos como el magmatismo, la subducción o el desarrollo de pliegues y cabalgamientos. La actividad planteada propone trabajar el concepto de topografía y su relación con los diferentes límites de placas utilizando para ello las aplicaciones Google Earth y GeomapApp. Google Earth permite visualizar el relieve en 3D y, en el caso de zonas continentales, crear y visualizar perfiles de elevación a lo largo de perfiles seleccionados y creados por el usuario (Fig. 6). La aplicación GeomapApp incluye datos de batimetría del fondo oceánico y permite generar perfiles topográficos en zonas marinas. Resulta por tanto útil para la visualización de la geometría del fondo marino en zonas de dorsal y zonas de fosa oceánica (Fig. 7).

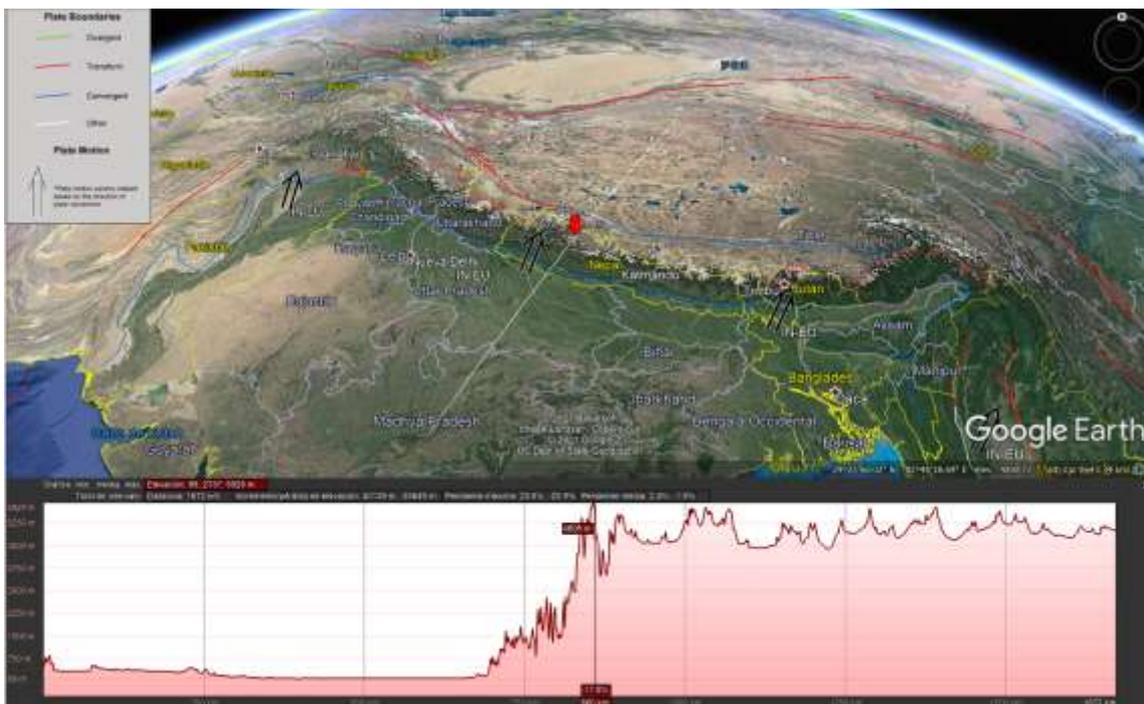


Fig. 6. A) Imagen de Google Earth del límite convergente entre la India y la parte sur de la placa euroasiática (ver leyenda del mapa de límites de placas en la parte superior izquierda). La parte inferior de la figura incluye un perfil topográfico creado a lo largo del límite considerado, extendiéndose hacia el sur y hacia el norte.

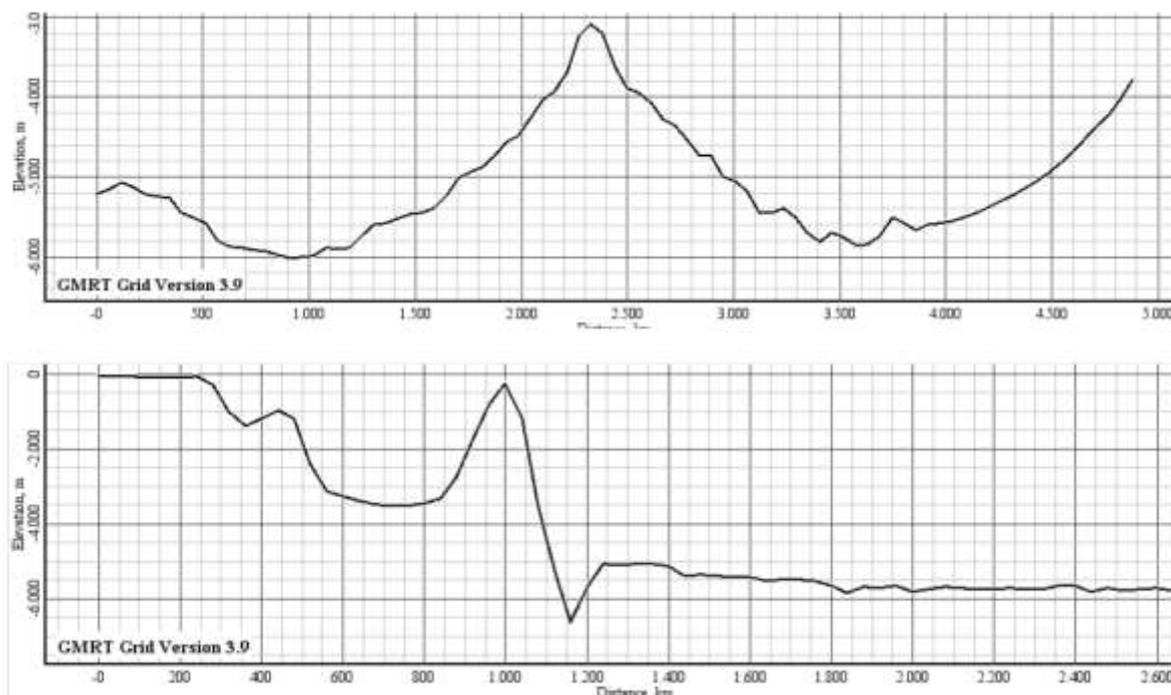


Fig. 7. Perfiles topográficos creados con la aplicación GeomapApp a través de la dorsal centro-atlántica (parte superior) y la fosa zona de subducción al Oeste de Alaska (parte inferior).

- Ejercicio 3. Proyección de mapas de distribución de sismicidad y de vulcanismo sobre Google Earth. En la propia web del USGS existen diferentes mapas disponibles en formato kmz que recogen terremotos en tiempo real, en diferentes zonas, diferentes periodos de tiempo, etc. Son también numerosos los mapas de distribución de vulcanismo. La combinación de estos mapas, junto con el mapa de límites de placas (ejercicio 1) y las ortofotografías disponibles en Google Earth permiten obtener una visión global de la distribución geográfica del magmatismo y la sismicidad y su relación con los diferentes límites de placas.

El uso de herramientas digitales como Google Earth o GeomapApp resulta útil en el aprendizaje de los contenidos relacionados con los límites de placas porque son enormemente visuales y trabajan con datos cuantitativos (sismicidad, topografía) que permiten que el alumnado establezca modelos conceptuales a través de modelos reales. Se trata de herramientas sencillas, que los alumnos pueden aprender a utilizar rápidamente de forma autónoma y que además pueden continuar consultando fuera del aula.

La actividad propuesta fue realizada con la clase de 1º de Bachillerato en la que impartí docencia durante prácticum II. Duró aproximadamente media hora y fue una actividad con intervenciones de los alumnos, pero guiada por el docente, llevada a cabo utilizando el ordenador y el proyector del aula. La actividad también podría haberse realizado en el aula de informática, dividiendo a la clase en grupos de 3-4 alumnos que hubieran realizado los ejercicios de manera autónoma, trabajando en grupo en una primera parte de la actividad y después exponiendo, comparando sus resultados con los del resto de grupos.

La evaluación de la actividad 1 se realizó a través de una encuesta de evaluación de la práctica docente y el proceso de aprendizaje. No realicé evaluación/calificación del trabajo realizado en el aula pero, de manera indirecta, la actividad fue calificada a través de una pregunta sobre los contenidos trabajados en la misma en la prueba escrita realizada al final de la unidad didáctica.

4.2. Actividad 2: Experimento sobre el concepto de viscosidad del magma

Esta actividad está basada en la propuesta recogida en el trabajo de Ramón-Sala y Brusi (2015) y tiene como objetivo principal facilitar la comprensión del concepto de viscosidad del magma y su relación con la temperatura, el contenido en sílice y el tipo de volcanes asociados. La viscosidad del magma depende en gran medida de la composición del mismo y de su temperatura (a mayor temperatura y menor contenido en sílice, menor viscosidad). La relación entre estos dos parámetros determina la capacidad de fluir del magma y condiciona la morfología de los edificios volcánicos, la explosividad de las erupciones y los riesgos asociados a las mismas.

El trabajo de Ramón-Sala y Brusi (2015) plantea seis modelos analógicos simples en los que se simulan y analizan los principales procesos asociados al peligro volcánico. De estos seis experimentos, la propuesta incluida en este trabajo se centra en la actividad relacionada con la viscosidad de las coladas de lava (actividad 3 en el citado trabajo). Para realizar este experimento se necesita una placa calefactora, un termómetro, una cuchara, virutas de chocolate, un vaso de vidrio, una cuña de madera, arena y una jeringuilla graduada. El experimento consiste en fundir el chocolate, mezclado con diferentes cantidades de arena en el vaso de vidrio. La mezcla de arena y chocolate simula el magma, quedando la sílice representada por el contenido en arena. Del vaso de vidrio, los alumnos tienen que extraer una serie de muestras del mismo volumen (con la jeringuilla graduada) de diferentes mezclas de arena y chocolate, a diferentes temperaturas. Sobre la cuña de madera, utilizando un cartón o un folio, se dibujan una serie de columnas sobre las cuales poder derramar las diferentes muestras. Los alumnos podrán constatar cómo las muestras de chocolate con más arena tienen menor capacidad de fluir y generan “coladas” de menor longitud y con mayor inclinación. Para magmas con la misma cantidad de arena y chocolate, las muestras derramadas a mayor temperatura mostrarán un comportamiento más fluido y las coladas tendrán una mayor longitud y menor pendiente. Tras el experimento, la actividad 2 contempla que los alumnos, utilizando las observaciones derivadas de la parte experimental, reflexionen sobre la relación entre la viscosidad de la lava y la relación diámetro/altura de los volcanes que diferentes tipos de lava pueden generar. Las observaciones e hipótesis de los alumnos pueden recogerse en un breve informe de laboratorio. Se trata de una actividad de laboratorio simple, que a través de la experimentación y el uso de recursos y observaciones comunes (el chocolate fundido mezclado con un componente que no se disuelve como la arena), permite al alumno establecer conexiones entre el pensamiento científico y el cotidiano.

La actividad planteada tiene una duración aproximada de media hora y es adecuada para ser realizada en grupos de entre 3 y 5 alumnos. Esta actividad no fue puesta en práctica durante el Practicum II. La evaluación y calificación de la actividad puede realizarse a través de la revisión del trabajo de clase (informe de laboratorio realizado por cada uno de los grupos).

4.3. Actividad 4: Visualización interactiva de terremotos en la aplicación Seismic Explorer

La actividad sísmica planetaria se concentra a lo largo de los diferentes límites de placas, con magnitudes y profundidades que varían dependiendo del tipo de margen. La actividad 4 se centra en trabajar esta relación entre el tipo de sismicidad y los tipos de límites de placas y tiene como principal objetivo que los alumnos visualicen de forma gráfica y tridimensional la distribución de terremotos en límites convergentes, transformantes y zonas de dorsal. Para ello, la actividad 4 plantea el uso de la aplicación Seismic Explorer del consorcio Concordium (<https://seismic-explorer.concord.org/>). La herramienta Seismic Explorer permite trazar cortes a través de cualquier parte del planeta que el usuario seleccione y visualizar, a lo largo de esos

cortes, cual es la distribución de los terremotos en profundidad y por magnitudes. La figura 8 incluye una serie de cortes realizados con esta aplicación a través de diferentes límites de placas. De forma similar a Google Earth y GeomapApp, Seismic Explorer resulta útil en el aprendizaje de los contenidos relacionados con la sismicidad y su relación con los límites de placas porque es interactiva, enormemente visual y utiliza datos cuantitativos y reales de terremotos que permiten que el alumno cree modelos mentales ajustados a la realidad.

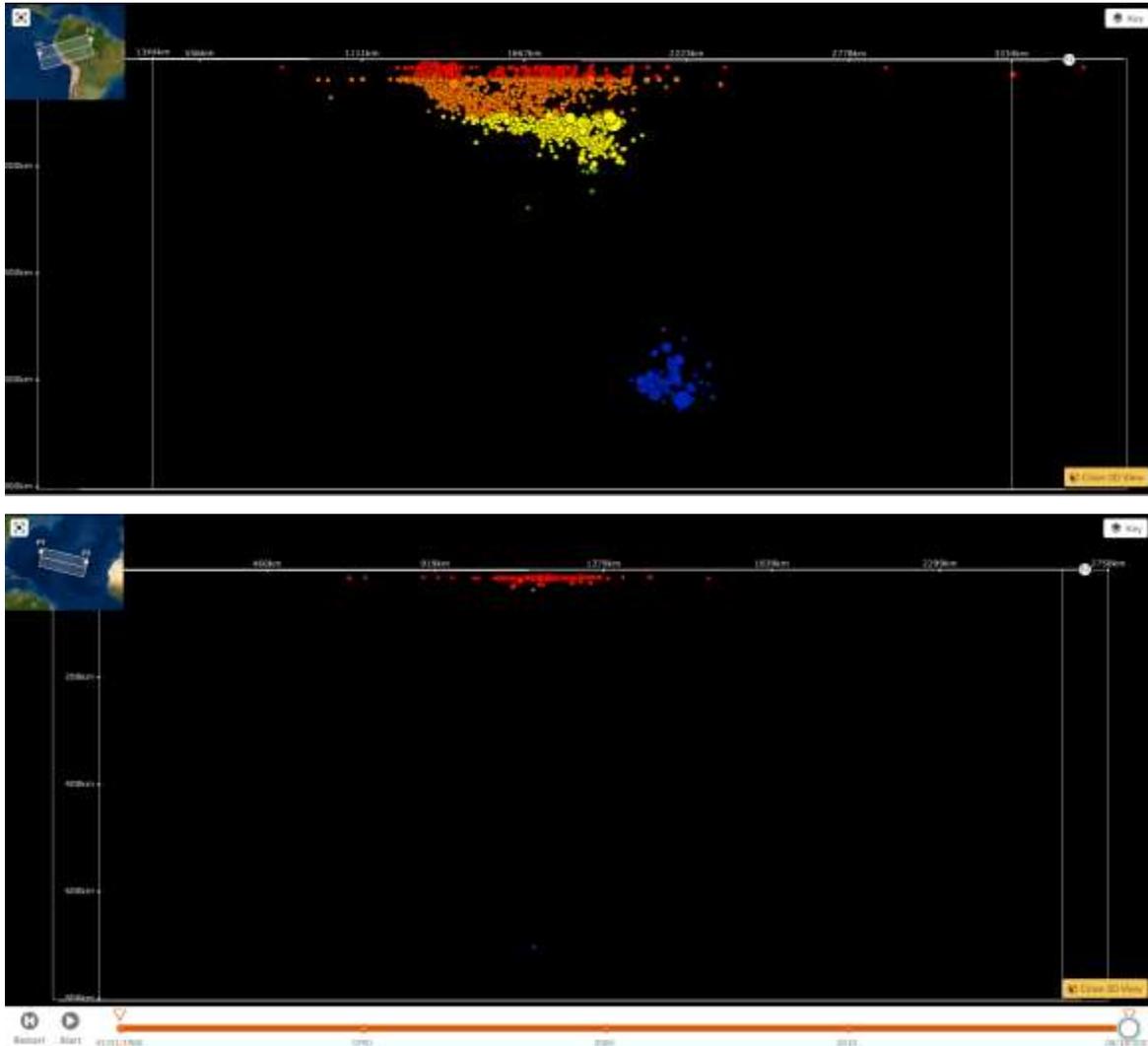


Fig. 8. Vista en corte de la distribución de la sismicidad en el margen convergente de la costa Oeste americana (parte superior de la figura) y la dorsal centro-atlántica (parte inferior de la figura). La ubicación de los cortes está indicada en los mapas de la esquina superior izquierda de ambas figuras. La profundidad de los terremotos está definida por su posición en la vertical y el color de las esferas, mientras la magnitud queda definida por su diámetro. La aplicación permite acotar los años de los terremotos y filtrarlos por magnitudes.

Durante el prácticum II, utilicé esta herramienta virtual para realizar una actividad con los alumnos que consistió en la selección de varios límites de placa diferentes y la descripción de la sismicidad asociada a los mismos. Realizamos diferentes cortes a través: (i) dos zonas de dorsal, (ii) tres límites convergentes que involucraban el choque de placas oceánica-oceánica, oceánica-continental y continental-continental, (iii) una falla transformante separando

fragmentos de dorsal oceánica, (iv) una falla transformante continental, (v) varias cordilleras intraplaca y (vi) una zona de rift intracontinental. La actividad duró aproximadamente media hora. La realizamos en el aula habitual, utilizando el ordenador y el proyector del aula. Estuvo guiada por el docente, pero con intervenciones continuas de los alumnos que participaron activamente en la selección de los límites y la descripción de la sismicidad observada. Como la actividad 1, la actividad 4 también podría haberse realizado en el aula de informática, dividiendo a la clase en grupos de 3-4 alumnos que hubieran realizado los ejercicios de manera autónoma, trabajando en grupo en una primera parte de la sesión y después exponiendo, comparando sus resultados con los del resto de grupos.

La evaluación de la actividad 4 se realizó a través de una encuesta de evaluación de la práctica docente y el proceso de aprendizaje. No realicé evaluación/calificación del trabajo realizado en el aula pero, de manera indirecta, la actividad fue calificada a través de una pregunta sobre los contenidos trabajados en la misma en la prueba escrita realizada al final de la unidad didáctica.

4.4. Actividad 5: El comportamiento de las rocas: analogías con materiales comunes y observaciones de lo habitual.

La actividad 5 trabaja los contenidos del bloque 8 relacionados con la deformación y el comportamiento reológico de las rocas sometidas a esfuerzos. Tiene como principal objetivo que los alumnos identifiquen y comprendan los comportamientos dúctil y frágil de las rocas a través de la observación de materiales no rocosos de la vida cotidiana. A partir de este punto de partida, la actividad permite que los alumnos (i) trabajen la lectura de gráficos esfuerzo-deformación en materiales dúctiles y frágiles y (ii) reconozcan los factores que pueden afectar en que las rocas presenten un comportamiento más frágil o más dúctil. Se trata de conceptos nuevos para los alumnos, que requieren un cierto grado de abstracción, y que se expresan a través de gráficos relativamente complejos y poco ilustrativos del concepto que representan. A pesar de la relativa complejidad de los gráficos esfuerzo-deformación y de la nomenclatura científica asociada, la elasticidad, la plasticidad, la ductilidad y la fragilidad son conceptos que forman parte del conocimiento común y que son fácilmente representables y comprensibles a través del recurso de lo habitual.

En este sentido, la actividad 5 propone una explicación de los gráficos esfuerzo-deformación de rocas apoyada en diferentes tipos de materiales comunes y observaciones de lo cotidiano. Los materiales necesarios son tres (figura 9): una goma elástica, un pedazo de silicona (del tipo empleado en modelización analógica de procesos tectónicos) y un bloque de plastilina.



Fig. 9. Materiales análogos empleados para explicar el comportamiento de las rocas.

La goma elástica es apropiada para explicar el comportamiento elástico: se trata de un material que se deforma cuando se aplica un esfuerzo sobre él pero que es capaz de recuperar su forma original cuando el esfuerzo cesa. La silicona y la plastilina son apropiadas para explicar el comportamiento plástico y el punto de rotura: se trata de materiales que se mantienen deformados una vez cesa la deformación y que llegan a romperse en caso de que se alcance un esfuerzo crítico. Una vez explicados los conceptos de comportamiento elástico, plástico y punto de rotura, la actividad contempla dos ejercicios adicionales:

- La comparación de dos gráficos esfuerzo-deformación característicos de un material frágil (alcanza la rotura rápido, acumula poca deformación plástica) y un material dúctil (tarda más en romperse, acumula mucha deformación plástica). Estos comportamientos diferentes pueden ejemplificarse utilizando la plastilina y la silicona que, sometidas a un esfuerzo de tensión similar, ejercido con los dedos, presentan comportamientos diferentes: la plastilina es más frágil y se rompe antes mientras la silicona es más dúctil y fluye, se deforma más, antes de romperse.
- La reflexión sobre la influencia de factores como la temperatura y la duración del esfuerzo. El efecto de la temperatura es fácil de comprender si se evoca a la miel o el vidrio y su diferencia de comportamiento cuando están fríos o calientes. Para explicar la influencia de la duración del esfuerzo, se puede recurrir de nuevo a la silicona. Si se deja un pedazo de silicona fluir durante unos minutos sobre la mesa, la silicona se extenderá sin romperse, comportándose de manera dúctil. Sin embargo, si sobre la silicona aplicamos un tirón brusco, la silicona se partirá, mostrando un comportamiento frágil. La reflexión sobre el comportamiento de la miel, el vidrio o la silicona sirve para ilustrar que un mismo material podrá tener un comportamiento dúctil o frágil en función de las condiciones a las que se encuentre (temperatura, presión, profundidad de enterramiento) y en función del esfuerzo que se aplique sobre el (duración, intensidad, dirección del esfuerzo).

La actividad 5 fue utilizada como recurso con el grupo en el que trabajé durante el prácticum II. La actividad duró aproximadamente veinte minutos. La realizamos en el aula habitual, y fue guiada por el docente, pero con intervenciones continuas de los alumnos (clase magistral pero participativa). La evaluación de la actividad 5 se realizó a través de una encuesta de evaluación de la práctica docente y el proceso de aprendizaje. No realicé evaluación/calificación de la actividad realizada en el aula, pero, de manera indirecta, la actividad fue calificada a través de una pregunta sobre los contenidos trabajados en la misma en la prueba escrita realizada al final de la unidad didáctica.

4.5. Actividad 6: Modelización analógica de un sistema de pliegues y cabalgamientos

La actividad 6 trabaja los contenidos del bloque 8 de la asignatura de Biología y Geología (1º de Bachillerato) relacionados con la deformación de las rocas y el desarrollo de estructuras geológicas tales como pliegues y cabalgamientos. El principal objetivo didáctico de la actividad es que los alumnos visualicen pliegues y fallas tridimensionalmente y sean capaces de crear un modelo mental que interpole su geometría en planta con su geometría en corte. También pretende facilitar la comprensión de los diferentes elementos geométricos de pliegues y fallas, la relación entre la edad de los estratos y las estructuras que los deforman y, en última instancia, ayudar a los alumnos en la visualización de la interacción entre topografía y estructuras geológicas y la lectura de mapas geológicos. Para ello, la actividad 6 plantea la realización de

un modelo analógico que simula un sistema de pliegues y cabalgamientos. Los modelos analógicos son modelos experimentales que utilizan materiales comunes como la arena, la silicona, la harina, el azúcar o el café y permiten simular el comportamiento y la deformación de las rocas en diferentes contextos geológicos (deformación compresiva o extensiva, o límites transformantes). Los modelos analógicos permiten visualizar el desarrollo progresivo de pliegues y fallas en el “tiempo” y tienen un carácter tridimensional, por lo que permiten trabajar las dificultades de aprendizaje de tipo topológico, frecuentes en el aprendizaje de las ciencias de la tierra. Sirven además para simular topografías y obtener “cortes” geológicos, lo que los convierte en un recurso idóneo en la enseñanza de la lectura de mapas geológicos y la interpretación y construcción de cortes.

En concreto, el modelo planteado en la actividad 6 de esta propuesta consiste en un modelo que reproduce un sistema de pliegues y cabalgamientos (Fig. 10). Para la realización del mismo utilizamos un mini-laboratorio similar al utilizado en las propuestas de Crespo-Blanc y Murcia-Lopez (2006) y Murcia-Lopez y Crespo-Blanc (2008). Este mini-laboratorio consiste en una placa basal alargada de madera sobre la que se colocan una pieza vertical también de madera (denominada back-stop) y dos placas verticales de plástico duro transparente. En la zona limitada por las piezas verticales de madera y plástico es donde se colocan en forma de capas horizontales los materiales que van a deformarse. En nuestro caso empleamos arena de color blanco y de color azul, aunque también funcionan otros materiales más fáciles de adquirir como el café o el azúcar blanco (este segundo puede además teñirse con pimentón para hacer capas de color anaranjado; Murcia-López y Crespo-Blanc, 2008). Las capas de arena fueron “sedimentadas” por los alumnos sobre un papel de acetato que cubría la placa basal del mini-laboratorio. Este papel estaba unido a un rodillo de cocina que permitía enrollarlo y deformar las capas horizontales de arena al hacerlas chocar contra el back-stop. De esta manera, fuimos capaces de reproducir, a escala de laboratorio, un sistema de pliegues y cabalgamientos que permitió visualizar algunos de los conceptos previamente trabajados en el aula (falla inversa, estrato, anticlinal, cabalgamiento, esfuerzos compresivos...).

Los alumnos registraron la evolución del experimento utilizando las cámaras de sus teléfonos móviles. Terminamos el experimento haciendo un resumen gráfico de las etapas de deformación en la pizarra y visualizando varios videos de modelos analógicos en compresión, similares al que nosotros habíamos realizado (<https://www.youtube.com/watch?v=BXDsjKAwwTw>; minuto 8:47), extensión (<https://www.youtube.com/watch?v=BXDsjKAwwTw>; minuto 4:38) y cizalla (<https://www.youtube.com/watch?v=BXDsjKAwwTw>)



Fig. 10. Imágenes del mini-laboratorio empleado para hacer el modelo analógico, del proceso de deformación de las capas de arena y del resultado final.

La actividad planteada duró aproximadamente media hora. La llevamos a cabo en el aula habitual, realizando un único experimento, y fue guiada por el docente, pero con intervenciones continuas de los alumnos (clase magistral pero participativa). Si hubiéramos dispuesto de mini-laboratorios adicionales, podría haberse planteado como una actividad de laboratorio por grupos en la que cada grupo se centrará en la modelización de un límite de placas diferente (convergente, divergente y transformante). La evaluación de la actividad 6 se realizó a través de una encuesta de evaluación de la práctica docente y el proceso de aprendizaje. No realicé evaluación/calificación de la actividad realizada en el aula, pero, de manera indirecta, la actividad fue calificada a través de una pregunta sobre los contenidos trabajados en la misma en la prueba escrita realizada al final de la unidad didáctica.

5. Análisis de los resultados de aprendizaje y la propuesta didáctica. Propuesta de mejora.

El análisis de los resultados de aprendizaje recogido en este apartado del trabajo parte de la observación diaria del grupo clase y del análisis de tres producciones diferentes de los alumnos:

1. Las fichas de identificación completadas por los alumnos durante el taller de rocas (actividad 1 descrita en el apartado 2 de este trabajo, Fig. 2)
2. Las presentaciones orales grupales sobre los contenidos del bloque de magmatismo (actividad 2 descrita en el apartado 2 de este trabajo, Fig. 5)
3. Las respuestas de los alumnos a las diferentes preguntas de la prueba escrita realizada al finalizar la unidad didáctica. El Anexo 1 de este trabajo incluye una copia de la prueba escrita.

El análisis de la adecuación de la propuesta didáctica (así como las propuestas de mejora) está en gran medida basada en los resultados de la encuesta de valoración/satisfacción realizada a los alumnos al finalizar la intervención docente. El Anexo 2 incluye una copia de las preguntas formuladas en esta encuesta.

En base a las producciones analizadas, pueden establecerse las siguientes reflexiones sobre el proceso de aprendizaje:

- El taller de rocas y las fichas de identificación completadas por los alumnos. La percepción general de la profesora de la asignatura y la mía fueron similares: los alumnos participaron activamente, el trabajo en grupo funcionó y el grado de aprendizaje fue elevado. La evaluación de las fichas de observación y clasificación de rocas avala estas observaciones: el porcentaje de aciertos en las clasificaciones de las rocas fue del 100% en todos los grupos. La calificación de la actividad osciló entre 8,5 y 9,5 sobre 10. En tres de los cinco grupos, la clasificación del tipo de roca observada fue acompañada por una breve explicación del grupo/subgrupo de rocas al que el espécimen pertenecía (por ejemplo, en el caso del granito, parte de los alumnos especificaron que se trataba de una roca ígnea plutónica). Las observaciones que acompañaron a la clasificación de las distintas rocas fueron en general acertadas, aunque se detectaron dificultades en la definición de la textura en las rocas sedimentarias observadas (travertino, caliza con ammonites, yeso alabastrino y areniscas con icnofósiles), así como dificultades en la distinción entre los conceptos de foliación metamórfica y laminación sedimentaria. Ninguno de los grupos acompañó las observaciones con esquemas o dibujos (en la ficha no se especificaba que debieran hacerlo). Los diagramas de flujo ayudaron a guiar las observaciones y a estructurar mentalmente el proceso de clasificación. La actividad sirvió no solo para trabajar la clasificación de las rocas sino también para repasar algunos de los conceptos previamente vistos en clase como, por ejemplo, la relación entre la cantidad de sílice, la acidez del magma y la coloración de las rocas.

- La actividad de clase invertida y las presentaciones orales relacionadas con los contenidos del bloque de magmatismo. Los alumnos trabajaron en tres grupos y cada uno de ellos presentó contenidos diferentes ((1) magma: tipos, origen y evolución; (2) volcanes: productos volcánicos, tipos de erupciones y estructuras volcánicas y (3) rocas ígneas plutónicas y volcánicas). Las presentaciones fueron evaluadas utilizando la rúbrica recogida en la Figura 5. Las calificaciones oscilaron entre 9 y 10 sobre 10. Todos los grupos se adecuaron en forma y tiempo al formato de la presentación y todos los alumnos, a excepción de dos, realizaron sus intervenciones oralmente, sin leer (los dos alumnos que leyeron tuvieron una calificación más baja, de 7 sobre 10). La mayor parte de los alumnos realizaron presentaciones excelentes a buenas (3, 4 en Figura 5) a nivel de seguridad, fluidez, entonación... Los alumnos demostraron que están acostumbrados a realizar presentaciones orales y que tienen un grado de práctica suficiente que les permite realizar presentaciones aceptables aun cuando el grado de preparación o conocimiento es suficiente a insuficiente (1, 2 en Figura 5). La información aportada en las presentaciones se limitó al contenido de los apuntes de la asignatura, aunque el segundo grupo utilizó videos adicionales para explicar los tipos de erupciones volcánicas. Las presentaciones fueron seguidas por un turno de preguntas que resultó enriquecedor y que fue útil para detectar dificultades en la comprensión de algunos conceptos como la diferenciación magmática que fueron reforzados con explicaciones adicionales.

- La prueba escrita final. Fue utilizada como herramienta de calificación de los alumnos (80% de la nota correspondiente a la unidad didáctica) e incluyó preguntas sobre los contenidos trabajados en las clases magistrales y las diferentes actividades realizadas durante el prácticum II (ver descripción de las actividades en el apartado 6 de este trabajo). En total, la prueba escrita constó de las 8 preguntas recogidas en el Anexo 1. Las calificaciones oscilaron entre el 1,8 y el 9,15 sobre 10. 3 alumnos suspendieron con notas por debajo del 4 y otros 3 con notas entre el 4 y el 5. Entre los alumnos aprobados, 5 tuvieron calificaciones entre el 5 y el 6,9, otros 5 entre el 7 y el 9 y un solo alumno obtuvo una calificación superior al 9.

Las preguntas de la prueba escrita guardan una estricta relación con los criterios de evaluación del currículo oficial y los objetivos didácticos considerados en la propuesta de actividades recogida en este trabajo (Tabla 4). El análisis desgranado de las respuestas de los alumnos sirve

por tanto como indicador del grado de logro o cumplimiento de los objetivos iniciales (Tabla 5).

Cuestión prueba escrita/actividad	Objetivo didáctico (ver Tabla 4)	Actividad relacionada	Porcentaje de acierto (más de $\frac{3}{4}$ del valor de la pregunta)	Grado de logro
Cuestión 1	1 y 2	Actividad 1 (apartado 6)	80%	Bueno a muy bueno
Cuestión 2	9 y 10	Actividad 4 (apartado 6)-	60%	Suficiente
Cuestión 3	14 y 16	Actividad 5 (apartado 6)	70%	Bueno
Cuestión 4	15, 18 y 19	Actividad 6 (apartado 6)	80%	Bueno a muy bueno
Cuestión 5	3, 4 y 8	Actividad 2 (apartado 6). Planteada pero no realizada (Solo trabajada en clases magistrales)	50%	Insuficiente
Cuestión 6	5	Solo trabajada en clases magistrales	70%	Bueno
Cuestión 7	11, 12	Solo trabajada en clases magistrales	<50%	Insuficiente
Cuestión 8	11, 12	Solo trabajada en clases magistrales	<50%	Insuficiente
Taller de rocas	6, 7, 13	Actividad 3		Bueno a muy bueno

Tabla 5. Relación entre las preguntas de la prueba escrita, los objetivos didácticos, las actividades en las que se han trabajado dichos objetivos didácticos y el grado de logro de los objetivos iniciales.

El análisis de los resultados incluidos en la Tabla 5 indica un grado de logro variable en los diferentes objetivos didácticos planteados. En general, el grado de logro en los objetivos que solamente se trabajaron en modalidad de clase magistral (objetivos 3, 4, 8, 11 y 12) es menor, siendo en la mayor parte de los casos insuficiente. Sin embargo, el grado de logro es mayor en el caso de los contenidos/objetivos en los que la explicación magistral fue complementada con alguna de las actividades detalladas en los apartados 2 y 6 de este trabajo. Destacar en este caso que el grado de aprendizaje de los contenidos trabajados en las actividades 1 y 6 fue bueno a muy bueno. Una excepción aparece en el caso del objetivo número 5 (cuestión 6 en la prueba escrita), que solamente se trabajó en modalidad de clase magistral, y para el cual el grado de logro fue bueno. En general, los resultados obtenidos en la prueba escrita ponen de manifiesto que trabajar los contenidos relacionados con los procesos geológicos internos (Biología y

Geología, 1° de bachillerato) a través de los recursos planteados en la propuesta didáctica de este trabajo (modelos analógicos, recursos del entorno cotidiano, herramientas interactivas...) implica una mejora de los resultados del aprendizaje.

La encuesta de satisfacción y evaluación de la actividad docente realizada a los alumnos resulta un instrumento excelente para completar el análisis de la propuesta didáctica y realizar propuestas de mejora. Las preguntas planteadas en la encuesta están recogidas en el Anexo 2 de este trabajo mientras la evaluación y respuestas de los alumnos quedan resumidas en la Tabla 6.

Sobre la asignatura (entre 1 y 5, 1 es nada, 5 es mucho)	1	2	3	4	5	Promedio
1- ¿Te pareció fácil?	3	5	5	4		2.6
2- ¿Te gusta?	1	4	8	2	2	3
3- ¿Consideras que has aprendido suficiente?	1	3	2	8	3	3.5
4- ¿Te ha ayudado a mejorar tu capacidad de razonamiento?	1	2	6	5	2	3.1
5- ¿Te han parecido adecuadas (entretenidas, didácticas) las actividades realizadas?	1		3	4	9	4.2
6- ¿Crees que es útil para tu vida diaria?	3	6	5	3		2.5
Sobre la profesora						
7- ¿Crees que se prepara las clases?				5	12	4.7
8- ¿Crees que conoce la materia?				3	14	4.8
9- ¿es didáctica cuando explica algo? ¿Consigue hacerse comprender?		1	2	8	6	4.1
10- ¿El examen te ha parecido acorde con los contenidos explicados en clase?	1	1	6	7	2	3.5

11. Lo que más te ha gustado: salida para ver rocas en Jaca, presentaciones grupales, el experimento en clase con la arena, el uso de materiales para explicar los comportamientos físicos, sitios web para ver las cosas de manera virtual y entretenida, que las clases tenían actividades prácticas para comprender mejor las cosas
12. Lo que menos te ha gustado: el examen, la exposición en grupos, hacer ejercicios en el cuaderno, algunas partes del tema que son aburridas
13. Sugerencias, críticas, comentarios: día entero para ir al monte a ver rocas, que haya más teoría en los exámenes, se nota el esfuerzo y explicas muy bien

Tabla 6. Resultados del cuestionario de evaluación.

Los resultados de la encuesta de satisfacción son útiles de cara a evaluar como los alumnos conciben su propio proceso de aprendizaje. En este sentido, la encuesta de satisfacción revela que, en términos generales, la mayor parte de los alumnos consideran que han aprendido suficiente (pregunta 3, Tabla 6) y han mejorado en mayor o menor medida su capacidad de razonamiento (pregunta 4, Tabla 6). En cuanto a las actividades planteadas, casi todos los alumnos del grupo califican las actividades realizadas como adecuadas o muy adecuadas.

En términos generales, la evaluación de los alumnos y el grado de logro de los objetivos iniciales indican que la propuesta didáctica planteada en este trabajo resultó aceptable como aproximación al aprendizaje de los contenidos tratados. No obstante, el análisis de estos mismos datos y resultados también revela ciertas carencias y problemas de aprendizaje, que podrían solventarse o abordarse mediante la implementación de una serie de mejoras específicas.

Por una parte, el análisis de la encuesta de satisfacción pone de manifiesto que la mayor parte de los alumnos consideran que los contenidos tratados no son demasiado importantes para su vida habitual. Este resultado negativo probablemente deriva del hecho de que la propuesta didáctica planteada recurre a lo cotidiano para explicar los conceptos geológicos, pero en ninguna actividad establece una conexión directa entre los conceptos teóricos y su aplicabilidad. Diferentes mejoras podrían incorporarse en este sentido:

- La actividad del taller de rocas podría incluir una breve introducción al uso, extracción e importancia de las rocas ornamentales y de construcción.
- Las actividades sobre volcanismo y sismicidad podrían completarse con lecturas específicas sobre riesgo volcánico y sísmico, sobre la monitorización que se hace en zonas de riesgo, la mitigación o los programas de educación/preparación de la población para situaciones de emergencia. Sería también interesante la lectura de noticias que describan las consecuencias reales de terremotos pasados, de diferente magnitud y en diferentes zonas del planeta.
- Las actividades sobre estructuras geológicas (pliegues, fallas, cuencas, sistemas de pliegues y cabalgamientos) podrían emplearse para introducir el concepto de reservorio en sentido amplio. Probablemente, los alumnos pensarán rápidamente en almacenes de hidrocarburos, pero es importante plantearles la utilidad de los reservorios geológicos como almacenes de CO₂, de energía o como zonas de almacenaje de residuos radiactivos. También podría introducirse en este punto de la unidad didáctica el problema de la transición energética, incluyendo noticias recientes o cercanas sobre los sistemas geotérmicos de baja entalpía (como por ejemplo el acuífero de Zaragoza) o el potencial de utilización de antiguas explotaciones de hidrocarburos como sistemas geotérmicos de entalpía media. El objetivo es que los alumnos sean conscientes de que la geología es una ciencia con aplicación directa en muchos de los retos medioambientales actuales.

Por otra parte, el análisis del grado de logro de los objetivos didácticos indica deficiencias en el grado de aprendizaje de algunos contenidos. En concreto, se observaron deficiencias en:

- Los objetivos didácticos relacionados con el bloque de metamorfismo (objetivos didácticos 11 y 12). Esta parte de los contenidos fue vista en clase de forma bastante rápida y no tuvo asociada ninguna actividad adicional. Además, durante el taller de rocas, solamente pudimos observar y describir una roca metamórfica (pizarra), de forma que la actividad tampoco dio pie a una revisión de los contenidos conceptuales trabajados en el aula. Para mejorar estos resultados sería necesario incluir una actividad específica sobre metamorfismo, que podría ser la observación de especímenes de visu en el laboratorio en combinación con su clasificación sobre un diagrama presión-temperatura en el que el alumno defina los principales tipos de metamorfismo.
- Los objetivos didácticos relacionados con la correlación entre viscosidad del magma, explosividad y contenido en sílice. En este caso, la propuesta incluida en este trabajo plantea una actividad completa (actividad 2 del apartado 6) que no llegó a realizarse durante mi intervención en el Practicum II. Su puesta en práctica probablemente hubiera mejorado el aprendizaje de los alumnos respecto a estos contenidos específicos de la unidad didáctica.

En cuanto a la evaluación de la propuesta didáctica por parte del alumnado, una mejora potencial sería la incorporación de evaluaciones específicas de las diferentes actividades. La adecuación de las actividades realizadas fue evaluada de forma general en la encuesta de satisfacción (pregunta 5, Tabla 6), pero no de manera específica después de cada actividad. Esta evaluación específica podría haberse realizado de forma rápida a través de un cuestionario simple en kahoot que los alumnos pudieran contestar desde sus móviles al finalizar la clase. Dicho cuestionario podría incluir dos o como máximo tres preguntas sobre los contenidos trabajados en cada actividad (para evaluar el grado de atención y aprendizaje) y una pregunta de valoración de la actividad del 1 al 5 (similar a las formuladas en el cuestionario de la Tabla 6).

6. Consideraciones finales

La propuesta didáctica recogida en este trabajo deriva en gran medida de una recopilación de actividades realizadas por diferentes compañeros y por mí misma en diversas actividades docentes o de divulgación científica. Los contenidos en los que la propuesta se centra son contenidos que he aprendido durante mi formación, con los que he trabajado posteriormente y que, en alguna ocasión y a diferentes niveles, he tenido que explicar. En este sentido, la articulación de contenidos y actividades no ha resultado complicada. Para abordar las explicaciones y plantear las actividades, he recurrido a una revisión de mi propio proceso de aprendizaje y tratado de recordar las dificultades que me planteó. Conceptos como la diferenciación magmática o el comportamiento frágil o dúctil de las rocas son difíciles de comprender cuando el grado de familiarización del alumno con el magmatismo o la reología son reducidos. Requieren de un grado de abstracción considerable y del establecimiento de conexiones entre diferentes conceptos (secuencias de cristalización mineral, precipitación por densidad, contenido en sílice, etc., en la diferenciación magmática) que, en el caso de 1º de Bachillerato, los alumnos acaban de aprender. En este sentido, mi experiencia anterior como alumna y como docente y mi experiencia durante el Practicum II convergen hacia una misma conclusión: el uso de modelos analógicos, de materiales comunes y de observaciones de lo habitual es una técnica enormemente útil en el aprendizaje de los contenidos relacionados con los procesos geológicos internos. Establecer nexos entre el conocimiento habitual y el conocimiento científico puede parecer una simplificación del segundo de los conocimientos, pero, lejos de ello, permite al alumno comprender mejor, comprender de manera más duradera y descubrir y valorar que la ciencia está presente en lo cotidiano. La experiencia propia y las numerosas referencias bibliográficas sobre el tema avalan esta reflexión (Pozo, 2000; Aragón-Méndez, 2004). Soy consciente de que la propuesta didáctica planteada en este trabajo versa sobre unos contenidos que yo misma tengo muy interiorizados. El planteamiento didáctico habría sido seguramente muy diferente en el caso de haber tenido que trabajar parte del temario de Biología. Esto hubiera sido un reto interesante que probablemente habría abordado a través del uso de los recursos didácticos trabajados durante el Máster o a través de la consulta de referencias bibliográficas o páginas web que recopilan baterías de actividades didácticas.

En términos generales, valoro muy positivamente mi proceso de aprendizaje y el de los alumnos. Comenzando por el aprendizaje de los alumnos, es importante recalcar que el punto de partida era óptimo: un aula con resultados académicos buenos, un interés por el aprendizaje y por la ciencia en general elevado y un muy buen funcionamiento grupal. Era fácil que los alumnos respondieran bien y lo hicieron. Considero muy importantes sus respuestas a dos de las preguntas incluidas en la encuesta de satisfacción: las preguntas 3 (¿Consideras que has aprendido suficiente?) y 4 (¿Te ha ayudado a mejorar tu capacidad de razonamiento?) recogidas en la Tabla 6. El hecho de ser un grupo con interés elevado implica que probablemente es también un grupo con cierta capacidad crítica y un nivel elevado de exigencia sobre su propio proceso de aprendizaje. En este contexto, considero que la valoración que los alumnos hacen

es positiva y su valoración me resulta gratificante. No es tan positiva en el caso de la pregunta 6 (¿Crees que es importante para tu vida?) que revela una deficiencia desde mi punto de vista grave en la programación didáctica. Faltaron actividades o reflexiones que les sirvieran a los alumnos para comprender la aplicabilidad y el valor de la geología en la sociedad. La desafección creciente por las ciencias entre el alumnado (Solbes *et al.*, 2007; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2011) deriva en gran medida de su incapacidad de conectar conocimiento científico teórico con conocimiento aplicado y actualidad. La geología es una ciencia con gran cantidad de aplicaciones más o menos tradicionales (explotación minera, rocas ornamentales, explotación de hidrocarburos, patrimonio...) que va a ser clave en la resolución de gran parte de los retos sociales actuales (reducción de las emisiones de CO₂, cambio climático, transición energética...). Es labor de los docentes (y de los científicos y divulgadores) transmitir a los alumnos esta conexión directa entre ciencia y sociedad, como herramienta para luchar contra la pérdida de interés generalizada por las ciencias y, en última instancia, como herramienta para colaborar en la creación de una sociedad que comprenda la necesidad de seguir avanzando en el conocimiento científico en todos sus ámbitos, desde el más fundamental y teórico al más aplicado y práctico.

Respecto al aprendizaje propio, como ya he introducido anteriormente, considero muy positivamente mi propio proceso. El Prácticum I y II han sido probablemente las asignaturas más enriquecedoras del Máster. Me han permitido entender el funcionamiento de un IES a todos los niveles, desde el nivel de gestión del centro al nivel de aula. En el aula he aprendido a observar, a redirigir una explicación en función de la respuesta de los alumnos, a redistribuir el tiempo sobre la marcha. Considero que he mejorado y adaptado mis habilidades comunicativas, aunque evidentemente queda trabajo por hacer. El diseño de la propuesta didáctica y el desarrollo de las prácticas han estado facilitadas en gran medida por el aprendizaje acumulado durante el Máster. A través del Máster he aprendido la importancia de las evaluaciones y su temporalización, la importancia de combinar clases magistrales con actividades dinámicas con mayor o menor grado de innovación, la importancia de observar y registrar datos que permitan analizar y mejorar el proceso de aprendizaje y el valor de la detección de ideas previas y dificultades de aprendizaje entre el alumnado. También he descubierto que la bibliografía relacionada es ingente. El Máster también me ha permitido adquirir una base teórica sobre dos temáticas importantes que eran completamente nuevas para mí: (i) la conducta del adolescente, las dinámicas de los grupos y la gestión de conflictos y (ii) el funcionamiento, normativa y reglamentación de los centros de educación secundaria desde el nivel de centro al nivel del aula. A diferencia de los contenidos mencionados con anterioridad en este párrafo (evaluaciones, programaciones, diseño de actividades...), los contenidos relacionados con las temáticas (i) y (ii) han quedado en un plano más teórico, sin aplicabilidad directa sobre la programación docente planteada durante el Practicum II. No obstante, han sido contenidos importantes a la hora de analizar y comprender los documentos del centro revisados durante el Practicum I, así como a la hora de entender el funcionamiento del departamento de Orientación o de las reuniones de tutores o de dirección a las cuales tuvimos oportunidad de asistir

En términos generales, considero que la formación durante el Máster ha sido completa y proporciona un buen punto de partida para los futuros docentes. Parte de los contenidos no han tenido una aplicación directa durante el Practicum II pero constituyen una base necesaria para la comprensión del funcionamiento cognitivo y conductual de los grupos e individuos adolescentes y el funcionamiento institucional de los centros. He observado que el trabajo en un IES tiene muchos más planos además del puramente docente (tutorización, mediación de conflictos, formación de docentes, dirección y organización, comunicación con los padres...), a los que un profesor de Educación Secundaria tiene que enfrentarse a lo largo de su trayectoria profesional. En este sentido, la base teórica aportada por el Máster constituye una buena

referencia inicial en aspectos que requieren de una formación y renovación permanente, pertinente en la trayectoria profesional de un buen docente.

9. Referencias

Alfaro, P., Espinosa, J., Falces, S., García-Tortosa, F. J., & Jiménez-Espinosa, R. (2007). Actividades didácticas con Google Earth. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(1), 2-15.

Álvarez R., García de la Torre, E., (1996). Los Modelos Analógicos en Geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de los materiales terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 133-139.

Aragón-Méndez, M. M. A. (2004). La ciencia de lo cotidiano. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 109-121.

Bach, J., Zarroca, M., Estrada, M. R., Poch, J. (2012). Iniciación a la identificación de las rocas: de los diagramas de flujo a la web IDE-ROC. En: *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 173, 54-63.

Carrillo, L. (1996). Trabajos prácticos en Geología: problemas, posibilidades y propuestas, Los. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 120-123.

Carrillo Rosúa, J., Vílchez González, J. M., González García, F. (2010). Ideas previas en el alumnado de magisterio de educación primaria sobre el interior de la tierra. *II Congreso Internacional de Didàctiques*, 308, 1-5.

Carrillo-Rosúa, J., Vílchez González, J. M., Fernández-Oliveras, A. (2014). El interior terrestre y el origen del magma visto por profesorado en formación de Educación Primaria y Secundaria: punto de partida para una propuesta basada en el uso de pruebas. *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante*, 26, 858-865.

Crespo Blanc, A., Pérez Ramos, I. (2002). La modelización analógica como recurso didáctico en la geología estructural. *Geogaceta*, 32, 179-181.

Crespo-Blanc, A., Murcia-López, M. I. (2006). Cómo se forman los océanos: enseñanzas del Laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14(2), 157-162.

de Contreras, L. M. (2006). Una propuesta de Geoimágenes: Google Earth. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14(2), 108-117.

Delgado Iglesias, J. (2012). El papel de la geología en la formación del profesorado de Educación Primaria en los nuevos planes universitarios de grado. *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 173, 191-197.

Díaz, M. G., García, M. A. C., Casellas, M. V. (2012). Utilización de los SIG como recurso para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2), 173-173.

Ejarque Ortiz, A., Bravo Torija, B., Mazas Gil, B. (2016). Diseño e implementación de una actividad de modelización de geología: ¿realmente la corteza es tan gruesa y los volcanes tan profundos? *Revista Internacional de Investigación e Innovación en Didáctica de las humanidades y las ciencias*, 3, 9-32.

Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G. (2016). Aula 3.0: Una nueva forma de aprender geología. El uso de las apps Trnio y Skechfab para construir modelos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(2), 163-168.

Figueiredo, M. T., Marques, L. (2005). Concepciones de alumnos de enseñanza secundaria sobre metamorfismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 13(2), 156-164.

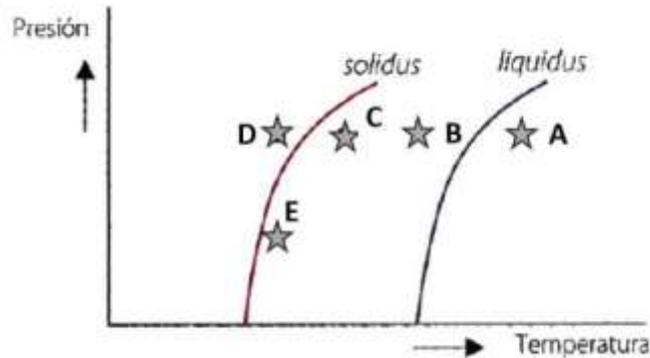
Francek, M. (2013). A compilation and review of over 500 geoscience misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64.

- Martínez-Martínez, J. (2019). Los monumentos como laboratorios de geología: Actividades didácticas para el estudio del patrimonio arquitectónico desde las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(1), 66-66.
- Martínez Peña, M. B., Gil Quílez, M. J., Martínez Montero, O. (2005). Pero ¿Hay geología en el paisaje?. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra).
- Moreira, J., Praia, J. F., Borges, F. S. (2002). Construcción de materiales didácticos en geología de campo: un estudio sobre alumnos de enseñanza secundaria, La. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10(2), 185-192.
- Murcia-López, M. I., Crespo-Blanc, A. (2008). La formación de océanos y cadenas de montañas a partir de modelos analógicos: maquetas y nuevos materiales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(2), 173-173.
- Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 315-323.
- Pedrinaci, E. (1998). Procesos geológicos internos: entre el fijismo y la Tierra como sistema. *Alambique*, 18, 7-17.
- Pérez, A. G., Santana, F. C. (1993). Rocas ornamentales. Sus aplicaciones didácticas, Las. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(1), 19-25.
- Pozo, J., Miguel, G. (2000). *Aprender a enseñar ciencia. De lo cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata. Madrid.
- Ramon-Sala, L., Brusí, D. (2015). Erupciones en el laboratorio. Modelos analógicos de peligros volcánicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(1), 96-96.
- Solbes, J., Montserrat, R., Más, C. F. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (21), 91-117.
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2011). El descenso de las actitudes hacia la ciencia de chicos y chicas en la educación obligatoria. *Ciência & Educação (Bauru)*, 17(2), 249-268.

c) Si la lava expulsada en superficie es ácida (contenido en sílice superior al 60%), ¿qué tipo de roca volcánica formará? ¿Cómo crees que será su viscosidad? ¿Qué tipo de erupciones volcánicas serían esperables?

Cuestión 6 (1 punto)

a) Explica los conceptos de punto de solidus y punto de liquidus. b) Completa el diagrama indicando en qué condiciones de presión y temperatura la roca se encuentra en estado sólido, en fusión parcial o en estado de fusión total (escríbelo sobre el gráfico)



c) Describe la evolución que sigue un magma (indica cambios de estado, causa, cantidad de magma respecto a mineral sólido en el caso de fusión parcial) que evoluciona desde el punto A hasta el E, pasando por los estadios intermedios B, C y D (A -> B -> C -> D -> E) ¿Qué minerales se formarán preferentemente en las fases B y C?

Cuestión 7 (1 punto)

En la falla de San Andrés se observan unas rocas muy deformadas, formadas a baja temperatura pero alta presión. ¿Cómo se llaman este tipo de rocas, que tipo de metamorfismo representan y qué textura presentan?

Cuestión 8 (1 punto)

El granito de Panticosa es un batolito que intruye en calizas y areniscas devónicas, estas últimas ricas en cuarzo. a) ¿Qué tipo de rocas metamórficas se forman en el contacto con el granito y que tipo de metamorfismo representan? b) Además, en el campo en esta zona, podemos observar unas rocas formadas por bandas claras y oscuras que nos indican que las unidades en contacto con el granito alcanzaron temperaturas próximas a los 700°C ¿de qué tipo de rocas se trata?

Tabla 7. Copia de la prueba escrita realizada a los alumnos.

ANEXO 2

Sobre la asignatura:

1. ¿Te pareció fácil? (Entre 1 y 5, 1 es nada, 5 mucho)
2. ¿Te gusta? (1 es nada, 5 mucho)
3. ¿Consideras que has aprendido suficiente? (1 es nada, 5 mucho)
4. ¿Te ha ayudado a mejorar tu capacidad de razonamiento? (1 es nada, 5 mucho)
5. ¿Te han parecido adecuadas (entretenidas y didácticas) las actividades realizadas? (1 es nada, 5 mucho)
6. ¿Crees que es útil para tu vida diaria? (1 es nada, 5 mucho)

Sobre la profesora:

7. ¿Crees que se prepara las clases? (1 es nada, 5 mucho)
8. ¿Crees que conoce la materia? (1 es nada, 5 mucho)
9. ¿Es didáctica cuando explica algo? ¿Consigue hacerse comprender? (1 es nada, 5 mucho)
10. ¿El examen te ha parecido acorde con los contenidos explicados en clase? (1 es nada, 5 mucho)
11. ¿Qué ha sido lo que más te ha gustado de las clases de geología?
12. ¿Qué ha sido lo que menos te ha gustado de las clases de geología?
13. Sugerencias, críticas, comentarios...