



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Propuesta Didáctica de Investigación Dirigida: lo que las rocas sedimentarias y los fósiles nos pueden decir sobre el pasado

A Didactic Proposal on Guided Research: what sedimentary rocks and fossils can teach us about the past

Autora

Andrea Jiménez Sánchez

Directora

Begoña Martínez Peña

Facultad de Educación

Año 2015/2016

Tabla de contenido

Introducción	3
Selección de dos temas para estudio exhaustivo	5
Utilidad para mi formación de las actividades escogidas.....	6
<i>Actividad: explotación de un yacimiento minero (de la asignatura “Diseño curricular de Física, Química, Biología y Geología”)</i>	6
<i>Actividad: Programación didáctica de la asignatura biología y geología de 4º de E.S.O. para el año escolar 2015/2016 (de la asignatura “Diseño curricular de Física, Química, Biología y Geología”)</i>	7
<i>Actividad: Preparación e impartición de clases cortas (de la asignatura Habilidades Comunicativas para Profesores)</i>	8
<i>Actividad: Grabación de una de las clases impartidas durante los Practicum II y III y análisis exhaustivo de las interacciones verbales profesor-alumnos. (de la asignatura “Habilidades Comunicativas para Profesores”)</i>	9
Propuesta didáctica de investigación dirigida: lo que las rocas sedimentarias y los fósiles nos pueden decir sobre el pasado	9
Objetivos.....	10
Marco geológico de la propuesta de investigación dirigida	11
Fundamentación geológica	12
<i>Lutitas, areniscas y calizas: ¿qué son y cómo se forman?</i>	12
<u>Clasificación de las rocas sedimentarias.....</u>	<u>13</u>
Medio de depósito.....	14
<i>Los fósiles: ¿qué son y cómo se forman?</i>	14
<i>La tectónica de placas: interés para esta propuesta</i>	15
Fundamentación didáctica de la propuesta	16
<i>Fundamentación teórica de la investigación dirigida</i>	17
<i>Fundamentación teórica de las prácticas de campo</i>	18
<i>Fundamentación teórica de las prácticas de laboratorio</i>	19
<i>Fundamentación teórica de las bases de orientación</i>	20
<i>Fundamentación teórica de la evaluación</i>	20
Ideas alternativas en los alumnos	21
<i>Ideas alternativas sobre las rocas y los minerales</i>	22
<i>Ideas alternativas sobre el tiempo geológico</i>	23
<i>Ideas alternativas sobre los fósiles</i>	24
<i>Ideas alternativas sobre la tectónica de placas</i>	25
Descripción de la propuesta didáctica	25
<i>Secuencia del proceso de enseñanza-aprendizaje</i>	27
Primera fase	28

Segunda fase	30
Tercera fase.....	32
Cuarta fase	34
<i>Descripción del medio didáctico</i>	35
<i>Procedimiento para evaluar los resultados.....</i>	38
Consideraciones finales	38
Bibliografía	39
Anexos	43
Anexo I	44
<i>Cuadernillo de campo para los alumno</i>	44
Introducción	44
Base de orientación para trabajar en el campo	45
Paleogeografía	46
Geografía física de la Península Ibérica	47
Situación geológica de la zona de estudio	48
Estratigrafía.....	49
Instrucciones para medir la dirección y el buzamiento de los estratos.....	50
Ambiente de depósito de las rocas sedimentarias.....	51
¿Qué puedes observar en la Fm. Sta. Cruz además de la litología?	53
¿Qué puedes observar en la Fm. Mariposas además de la litología? FÓSILES corporales y moldes.....	55
Anexo II.....	61
<i>Diagrama para indentificar las rocas en el campo.....</i>	61
Anexo III.....	62
<i>Base de orientación para trabajar con las láminas delgadas.....</i>	62
<i>guión para estudiar la textura de las arenisca.....</i>	63
Anexo IV	64
<i>Rúbrica para la evaluación de la presentación y exposición oral de los resultados del estudio de las láminas delgadas</i>	64
Anexo V.....	66
<i>Instrucciones generales y apartados que debe contener el informe de la Investigación Dirigida</i>	66
Instrucciones generales.....	66
apartados que debe contener	66
Anexo VI	68
<i>Evaluación de la Propuesta Didáctica de Investigación Dirigida.....</i>	68

INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster (TFM) forma parte del Máster en Profesorado de E.S.O., Bachillerato, F.P. y Enseñanzas de Idiomas, Artísticas y Deportivas, en la especialidad de Biología y Geología, impartido durante el año académico 2015–2016 por la Facultad de Educación de la Universidad de Zaragoza. Esta memoria final representa el cierre, o la culminación, del máster, pues para superarlo debe quedar demostrado, en su estructura y en su diseño, que hemos adquirido durante este año la destreza necesaria para desenvolvemos en las aulas de Educación Secundaria Obligatoria y en las de Bachiller, tanto a nivel emocional, en el trato con los alumnos, como a nivel académico, en el conocimiento científico y didáctico de la materia que impartamos. Teóricamente, una vez superado este trabajo, estaremos capacitados para ser profesores.

Durante este año hemos cursado un total de diez asignaturas y hemos tenido tres *Practicums* (*Practicum I*, *Practicum II* y *Practicum III*); los dos últimos se desarrollaron de forma continuada en el tiempo y desde ahora nos referiremos a ellos como un solo periodo de *Practicum* (segundo periodo de *Practicum*). Estas asignaturas las podríamos agrupar de forma sencilla en dos bloques: las que nos han preparado para cuestiones generales de la enseñanza y las que han sido específicas de nuestra formación, en mi caso las enfocadas a la Biología y la Geología. Los periodos de *Practicums* iban dirigidos a familiarizarnos con el funcionamiento de los centros, tanto en su parte académica como organizativa, y a que diéramos nuestras primeras clases y pusiéramos en prácticas nuestras propuestas didácticas con los alumnos de diferentes niveles de Educación Secundaria Obligatoria y de Bachiller.

En mi caso los dos periodos de *Practicum* transcurrieron en el Centro concertado de los Salesianos de Ntra. Sra. del Pilar de Zaragoza, ubicado en el barrio de las Delicias, de donde proceden la mayor parte de sus alumnos. Durante el *Practicum I* me dediqué, como la mayor parte de mis compañeros, a estudiar la documentación necesaria para el funcionamiento del centro, además de asistir a una serie de conferencias impartidas por profesores con diferentes cargos en el centro, en las cuales nos hablaron de las características de estos cargos. Y durante los *Practicums II* y *III* impartí clases de Biología (concretamente la unidad didáctica “La salud del ser humano” a los cursos 3ºA y 3ºB de la E.S.O.) y clases de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (la unidad didáctica “Recursos energéticos y minerales”) a los alumnos de 2º de Bachiller. Como uno de los objetivos de este segundo periodo de

Practicum es que los alumnos del máster pusiéramos en marcha una propuesta didáctica de innovación y la desarrolláramos, diseñé propuestas diferentes para 3ºA y 3ºB, con estilos completamente diferentes. El objetivo de diseñar dos propuestas fue analizar y estudiar cuál de ellas da mejor resultado en las aulas. La propuesta didáctica para 3ºA consistió en la elaboración de un pequeño trabajo de investigación realizado en grupos cooperativos. Estos trabajos versaban sobre diferentes temas relacionados con la salud, pues era la unidad didáctica que impartí, intentando que los temas fueran de máxima actualidad. Para 3ºB diseñé un juego-concurso, también sobre cuestiones de salud, que consistía en la adquisición de puntos mediante el acierto de preguntas hechas por sus propios compañeros. Los alumnos diseñaron sus preguntas y jugaron en grupos cooperativos. Al evaluar los resultados obtenido en las dos propuestas didácticas mi satisfacción fue mayor con el de los pequeños trabajos de investigación que realizaron los alumnos de 3ºA. En este tipo de trabajos el número de competencias claves puestas en juego es mayor y los alumnos se ven obligados a emplearse más a fondo.

Pero, a pesar de que mis impresiones con los trabajos de investigación que desarrollaron los alumnos de 3ºA de la E.S.O. fueron muy positivas, la propuesta que presento en esta memoria de TFM no está relacionada con aquella. Con mi formación en Geología me siento más cómoda desarrollando temas de esta disciplina y, además, creo muy necesario que los centros desarrollen propuestas didácticas de carácter geológico que enganchen a los alumnos.

Dicho esto, es importante señalar que la propuesta didáctica que presento en este trabajo no ha sido puesta en marcha: es eso, una *propuesta* que me gustaría llevar a cabo en un futuro con mis alumnos. Esta propuesta ha sido diseñada para ponerla en práctica con alumnos de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria que cursen la asignatura de Biología y Geología, y tiene carácter geológico. En ella los alumnos deberán utilizar los conocimientos teóricos sobre varios campos conceptuales de la Geología -rocas sedimentarias, fósiles, tectónica de placas (deriva continental y formación de montañas) y tiempo geológico- adquiridos fundamentalmente durante el curso, para desarrollar un trabajo de investigación que consistirá en reconstruir la historia geológica de una zona concreta de la Cadena Ibérica durante un momento del Paleozoico, en el Devónico Inferior, y analizar qué hechos geológicos (que formarán parte de esa historia geológica) han sido determinantes para alcanzar su morfología actual.

La estructura de esta propuesta encaja bien con lo que Gil (1993) definió como el aprendizaje de las Ciencias basado en un *proyecto de investigación dirigida*, donde los alumnos trabajan como si fuesen investigadores noveles: bajo la dirección de un especialista y utilizando sus conocimientos previos, construyen sus propias investigaciones. En los apartados siguiente describiré con detalle la propuesta, comenzando por el marco geológico de la misma, la fundamentación científica del marco conceptual implicado en ella, la fundamentación didáctica, las ideas alternativas que poseen los alumnos sobre los conceptos implicados y la descripción de la propuesta: temporización, medio didáctico, etc.

Una vez que ha quedado claro que la propuesta que presento no ha sido puesta en práctica, me gustaría señalar que en febrero de 2016 ayude a la Dra. Zarela Herrera, directora del Museo Paleontológico Los Mares Paleozoicos, en Santa Cruz de Noguera (Teruel) en una visita que realizaron a la zona los alumnos de 3º y 4º curso de E.S.O. y los alumnos de 1º de Bachiller del IES Ramón y Cajal de Zaragoza. En ella, la Dra. Zarela Herrera se encargó de mostrar a los alumnos el museo y yo me encargué de la

fase de campo, llevándomelos al corte del Pozo de la Caldereta (del que hablaré más tarde en la memoria). En el afloramiento mostré a los alumnos la litología, las estructuras sedimentarias y los principales grupos fósiles, e hicimos las interpretaciones geológicas pertinentes. Fue, desde luego, algo muy diferente a lo que propongo que hagan los alumnos cuando lleve a cabo mi propuesta, pues los estudiantes del IES Ramón y Cajal me escuchaban, tomaban sus notas y respondían a mis preguntas, pero todo el protagonismo del proceso enseñanza-aprendizaje recayó sobre mí. Sin embargo, pude ver como a la gran mayoría les gustó esta actividad, aunque solo fuese por estar fuera del aula y tener un martillo en las manos con el que *desfogarse*. Además, con un grupo de alumnos de Educación Primaria de mi centro de *Practicum*, considerados de altas capacidades¹, llevé a cabo una actividad que gustó mucho a los alumnos y a los profesores que nos acompañaron y que también me ha sido de gran utilidad en mi propuesta de TFM. La actividad con los alumnos de primaria consistió en una visita a las áreas de Paleontología y Petrología de Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. En el área de Paleontología los estudiantes realizaron un levigado y observaron los microfósiles obtenidos en él con una lupa binocular. En el área de Petrología la actividad consistió en observar diferentes rocas en visu, bajar a los talleres de preparación de rocas y observar al microscopio rocas del mismo tipo que las vista en visu. La actividad pretendía que los estudiantes conocieran cuál es la forma de trabajar de algunas de las personas que nos dedicamos a la investigación en Geología. La diferencia fundamental entre la actividad llevada a cabo con los alumnos de primaria de altas capacidades y la que propongo aquí es que los alumnos de 4º de la E.S.O., a los que va dirigida la propuesta, tienen que estudiar las láminas delgadas y sacar sus conclusiones sobre lo que observen.

SELECCIÓN DE DOS TEMAS PARA ESTUDIO EXHAUSTIVO

En este apartado voy a analizar varias actividades realizadas durante el curso que me han sido especialmente útiles tanto para abordar posteriormente otras asignaturas como para diseñar mi Trabajo Fin de Máster. Las dos primeras formaron parte de la asignatura “Diseño curricular de Física, Química, Biología y Geología” (impartida en el primer cuatrimestre) y consistieron en el diseño y la evaluación de una actividad de carácter práctico, para los alumnos de 3º curso de Educación Secundaria Obligatoria (E.S.O.), y en el diseño de la programación didáctica anual de la asignatura de Biología y Geología de 4º curso de la E.S.O. La otra serie de actividades que considero especialmente relevantes se desarrollaron dentro de la asignatura “Habilidades Comunicativas para Profesores” (segundo cuatrimestre) y consistieron en la preparación de un conjunto de clases cortas y su posterior exposición a nuestros compañeros del máster y en la grabación de una de las clases impartidas durante los *Practicum II* y *III* y el análisis exhaustivo de las interacciones verbales profesor-alumnos.

De este conjunto de actividades, las primera de ellas, las desarrolladas dentro de la asignatura “Diseño curricular de Física, Química, Biología y Geología”, me han sido de gran ayuda para la realización de una serie de trabajos de otras asignaturas, para los *Practicum II* y *III* y para diseñar la *propuesta de investigación dirigida* que propongo como Trabajo Fin de Master, y las incluidas dentro de la asignatura “Habilidades

¹ Estos estudiantes son considerados por el centro como alumnos de altas capacidades porque muestran una inteligencia “superior” al resto de sus compañeros, pero no han sido diagnosticados como tales por los especialistas.

² Me parece una propuesta difícil de llevar a cabo para estudiantes que necesiten adaptaciones curriculares importantes. También

Comunicativas para Profesores” me fueron muy útiles para la preparación y posterior impartición de las clases teóricas que di durante el segundo periodo de *Practicum*. La importancia de estas actividades será descrita detalladamente en los subapartados siguientes.

Como ya he mencionado, voy a centrarme solo en las actividades de las asignaturas citadas anteriormente, pero esto de ninguna forma quiere decir que otras asignaturas cursadas en el máster no me hayan sido de provecho. Por ejemplo, de la asignatura “Contexto de la Actividad Docente”, me pareció sumamente interesante el estudio de las relaciones existentes entre el sistema educativo, la sociedad y la educación que finalmente reciben los alumnos; las prácticas que realizamos en esta parte de la asignatura fueron muy reveladoras para mí. Por otro lado, la asignatura “Fundamentos de diseño instruccional y metodologías de aprendizaje en las especialidades de Física y Química y Biología y Geología” ha sido clave para la fundamentación didáctica de la *propuesta de investigación dirigida* que propongo aquí; la bibliografía recomendada por los profesores me ha resultado de gran utilidad. Las actividades desarrolladas a lo largo del cuatrimestre en la asignatura “Diseño, Organización y Desarrollo de Actividades para el Aprendizaje de Biología y Geología” me han dado ideas sobre cómo plantear las actividades que detallo en mi propuesta y sobre las dificultades con las que se pueden encontrar los alumnos a la hora de llevarlas a cabo, pues, yo misma, que tengo preparación en la disciplina de Geología, tuve algunos problemas a la hora de enfrentarme a las actividades de carácter biológico. Y, por último, la asignatura de “Evaluación e Innovación Docente e Investigación Educativa en Biología y Geología” me ha permitido ver que existen otras formas de evaluar diferentes a una simple calificación numérica y he intentado utilizar lo aprendido en ella de la mejor forma posible en el procedimiento de evaluación de la propuesta que aquí presento.

UTILIDAD PARA MI FORMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ESCOGIDAS

A continuación describiré con detalle la importancia que las actividades escogidas de las asignaturas “Diseño curricular de Física, Química, Biología y Geología” y “Habilidades Comunicativas para Profesores” han tenido en mi formación como futura profesora y cómo he trasladado lo aprendido en ellas a las actividades realizadas durante los *Practicums II y III*, al diseño de mi propuesta didáctica de investigación dirigida y a otros trabajos solicitados durante el máster.

ACTIVIDAD: EXPLOTACIÓN DE UN YACIMIENTO MINERO (DE LA ASIGNATURA “DISEÑO CURRICULAR DE FÍSICA, QUÍMICA, BIOLÓGICA Y GEOLOGÍA”)

La profesora de esta asignatura, Carmen Díez, programó esta actividad para que fuese desarrollada en grupos cooperativos de cuatro alumnos; el grupo del que yo formé parte estaba constituido por una estudiante con formación en Veterinaria, otra con formación en Medicina y otro estudiante y yo con formación en Geología. Las indicaciones generales de la profesora fueron el diseño de una práctica en la que se trabajaran varias competencias básicas y de una rúbrica para su evaluación. Todo ello tenía que encajar con los contenidos curriculares de un curso determinado de la E.S.O.; en nuestro caso escogimos diseñar esta práctica para 3º curso. En ella los estudiantes debían gestionar la explotación de un yacimiento mineral, resolviendo cuestiones cómo la profundidad del filón que contenía las menas, el porcentaje en peso de los diferentes minerales, estudiar cuáles son sus usos, decidir si explotar a cielo abierto o con galerías,

decidir la forma de restaurar el paisaje una vez agotado el yacimiento, etc. y los resultados debían ser expuestos en una presentación oral.

En esta actividad me enfrenté por vez primera a los contenidos curriculares de secundaria, en este caso de 3º curso de la E.S.O., pues debíamos comprobar si los conceptos que tenían que manejar los alumnos para realizar con éxito nuestra propuesta estaban dentro del contenido curricular del curso o, en caso de que no fuese así, si formaban parte del contenido de cursos anteriores. Revisamos, además de los contenidos curriculares de la asignatura de Biología y Geología, los de Matemáticas, pues, para resolver muchas de las cuestiones demandadas, los estudiantes debía realizar operaciones matemáticas que, aunque sencillas para nosotros, debíamos asegurarnos de que las conocían. Recuerdo que este proceso nos llevó tiempo y que nos vimos obligados a realizar bastantes cambios hasta que las cuestiones que les planteábamos encajaron en el nivel para el que estaban diseñadas. Fue también la primera vez que tuvimos que pensar en cuál era la mejor forma de trabajo para los alumnos: individualmente, por parejas o en grupos cooperativos; y nos decidimos por la última opción. Pero ahora debíamos decidir quién formaba los grupos: los profesores o los alumnos; y decidimos que nosotros, los profesores, atendiendo a las cualidades de cada uno y a las relaciones personales entre ellos. A continuación, debíamos decidir cómo íbamos a organizar las presentaciones orales (formato a utilizar, orden de las presentaciones, tiempo de exposición, tiempo para las preguntas, quién podía preguntar, etc.). Y, finalmente, debíamos diseñar una rúbrica para evaluar la actividad en la que se consideraran todas las competencias básicas trabajadas.

Todo este trabajo, desarrollado de forma conjunta con los otros tres compañeros, me fue especialmente útil durante mi periodo de *Practicum* a la hora de diseñar y poner en marcha una de mis propuestas didácticas: los trabajos de investigación sobre diferentes cuestiones relacionadas con el la unidad didáctica “La salud del ser humano”, en el curso de 3ºA de la E.S.O. del centro los Salesianos Ntra. Sra. Del Pilar, en Zaragoza; y también, aunque en menor medida, en la organización del concurso sobre la misma unidad didáctica en el curso de 3ºB de la E.S.O. del mismo centro.

Para que los alumnos desarrollaran sus trabajos de investigación relacionados con la salud, los organicé de una forma muy similar a la utilizada en la actividad que acabo de describir aunque, al no conocer a los alumnos pues me acababa de incorporar, fueron ellos quienes formaron los grupos cooperativos. La planificación de las presentaciones orales tuvo también mucho que ver con lo que habíamos propuesto finalmente en nuestra actividad y tuvo un buen resultado. Bien es cierto que la actividad sobre los yacimientos no se llevó a cabo y podría haber sido un fracaso utilizar su diseño con un grupo de alumnos reales. Pero, a este respecto, contamos con la ayuda inestimable de la profesora, que nos iba indicando lo que es posible hacer y lo que no cuando se trabaja con adolescentes y, sobre todo, *cómo cambia el concepto del tiempo* al trabajar con ellos. Teniendo en cuenta estos consejos, el tiempo empleado en las exposiciones de los trabajos de investigación fue el previsto y todos los integrantes de los diferentes grupos se vieron obligados a participar en ellas.

ACTIVIDAD: PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA ASIGNATURA DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DE 4º DE E.S.O. PARA EL AÑO ESCOLAR 2015/2016 (DE LA ASIGNATURA “DISEÑO CURRICULAR DE FÍSICA, QUÍMICA, BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA”)

Este trabajo, como se puede deducir por su título, consistió en el diseño de la

programación didáctica anual de la asignatura de Biología y Geología para 4º curso de la E.S.O. y lo desarrollamos en dos fases: la primera se llevó a cabo en grupos cooperativos de cuatro alumnos y consistió en la búsqueda de todas las leyes, decretos y órdenes que afectaban al nivel y a la asignatura escogidos para el diseño de la programación (objetivos de etapa, objetivos de curso, competencias claves, criterios de calificación y relación con las competencias claves, etc.); y la segunda fase fue individual y cada uno de nosotros tenían que diseñar la temporización de las unidades didácticas, el tipo de evaluación que utilizaría, los criterios de calificación, los recursos didácticos que emplearía, las adaptaciones curriculares no significativas, etc. Este es un trabajo que está enfocado principalmente a que aprendamos a desarrollar uno de los ejercicios más importantes en las oposiciones para profesor de secundaria; pero, en mi caso, además, me ha resultado de gran ayuda para realizar otros trabajos del máster, como el diseño de la unidad didáctica “El metabolismo celular”, de la asignatura “Contenidos Disciplinarios de Biología” y para diseñar la propuesta didáctica de *investigación dirigida* de mi Trabajo Fin de Máster.

El haber trabajado de forma intensa con el currículo de la asignatura de Biología y Geología de 4º de la E.S.O. y estar ya familiarizada con las competencias claves específicas para el curso, con sus contenidos conceptuales, con su organización y la forma de relacionarlos con las competencias claves, con el diseño de la temporización de los contenidos, con la búsqueda de recursos didácticos para facilitar la comprensión de los mismos, con el diseño de actividades para llevar a cabo durante la impartición de las diferentes unidades didácticas, etc., me ha resultado de gran utilidad para esta propuesta didáctica de investigación dirigida. Al tiempo que iba diseñando la propuesta, detallando los objetivos, la forma de llevarla a cabo y su temporalización, fui consciente de que los únicos alumnos de secundaria preparados para ponerla en práctica son los de 4º curso de la E.S.O. Los alumnos de este nivel deberían haber adquirido durante el resto de los cursos de secundaria y, especialmente, a lo largo de 4º curso, las competencias claves necesarias en la asignatura de Biología y Geología para poder emprender, con la ayuda del profesor, un pequeño proyecto de investigación en el cual deban integrar sus conocimientos teóricos. De hecho, la Orden de 9 de mayo de 2007, del Departamento de Educación, Cultura y Deporte de la Comunidad Autónoma de Aragón, por el que se aprueba el currículo para la Educación Secundaria Obligatoria, incorpora en este nivel una unidad didáctica cuyo objetivo es que los alumnos desarrollen, precisamente, un proyecto de investigación de un tema relacionado con la asignatura.

ACTIVIDAD: PREPARACIÓN E IMPARTICIÓN DE CLASES CORTAS (DE LA ASIGNATURA HABILIDADES COMUNICATIVAS PARA PROFESORES)

La primera de estas actividades la llevamos a cabo en grupos cooperativos de seis alumnos. Consistió en el análisis de un texto sobre diferentes aspectos de la comunicación oral, enfocado fundamentalmente a la enseñanza, y en exponer oralmente nuestras conclusiones. El tiempo de exposición era de 20 minutos a repartir entre los miembros del grupo. La experiencia fue muy positiva. En nuestro grupo hicimos una exposición, que junto con otra, fue considerada la mejor. Nos dividimos muy bien el trabajo y lo cierto es que nos desenvolvimos muy bien. Pero nos falló un punto muy importante: el tiempo, pues empleamos mucho más del que estaba previsto y, lógicamente, nos penalizaron por ello. La segunda de estas actividades consistió en la preparación individual de una “miniclasa” de 10 minutos, en la que cada uno de nosotros podía hablar del tema de su especialidad que más le apeteciera (yo elegí hablar

de los fósiles, con un enfoque dirigido a alumnos de 4º de la E.S.O.). Otras actividades fueron parecidas a estas y no las voy a comentar.

Este grupo de actividades me resultó muy provechosas para preparar el discurso oral de las clases que impartí durante los *Practicums II y III*. Me ayudaron a organizar el discurso, a utilizar diferentes recursos retóricos para insistir en las ideas conceptuales más importantes y complicadas, a dirigirme de una forma adecuada a los alumnos intentando abarcarlos a todos con la mirada, a no preguntar siempre a los mismos, etc., y, después de la (mala) experiencia con la primera exposición oral, a controlar mejor el tiempo dedicado a cada sección del tema.

ACTIVIDAD: GRABACIÓN DE UNA DE LAS CLASES IMPARTIDAS DURANTE LOS *PRACTICUMS II Y III* Y ANÁLISIS EXHAUSTIVO DE LAS INTERACCIONES VERBALES PROFESOR-ALUMNOS. (DE LA ASIGNATURA “HABILIDADES COMUNICATIVAS PARA PROFESORES”)

Esta actividad consistió en grabar una clase de las impartidas durante el segundo periodo *Practicum*, cada cual la que considerara más adecuada. En mi caso, la grabación se fue demorando por diversos motivos, y al final grabé las dos últimas clases teóricas que impartí, una con 3ºA y otra con 3ºB. No puedo considerar, por tanto, que estas grabaciones me hayan resultado de especial utilidad en el *Practicum*, pero me ha ayudado mucho a ser consciente de cuáles han sido mis puntos más fuertes y cuáles los más débiles a la hora de dirigirme a los alumnos y lo tendré muy en cuenta para el futuro. Además, el análisis cuantitativo de la interacción verbal profesor-alumno permite ver las características de las interacciones entre los miembros de una clases (profesor-alumnos, profesor-alumno, alumno-alumno y alumno-alumnos) a un nivel de detalle que en la visualización de la grabación, por mucho interés que se ponga, se pasan por alto.

En las clases de máster que siguieron al *Practicum*, hasta finalizar el periodo lectivo, cada uno de nosotros proyectó un fragmento de su grabación al resto de los compañeros con el objetivo de hacer una crítica constructiva sobre cada una de ellas. Además, comentamos las dificultades con las que cada uno se había encontrado a la hora de enfrentarse al discurso oral.

PROPUESTA DIDÁCTICA DE INVESTIGACIÓN DIRIGIDA: LO QUE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS Y LOS FÓSILES NOS PUEDEN DECIR SOBRE EL PASADO

La propuesta didáctica de *investigación dirigida* que presento en este Trabajo Fin de Master está diseñada para llevarla a cabo con alumnos que cursen la asignatura de Biología y Geología de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria, pues con los contenidos curriculares del curso y recurriendo a los conocimientos que los alumnos tengan de cursos previos, están plenamente capacitados para desarrollarla con éxito. Es muy importante volver a señalar que **la propuesta no ha sido puesta en práctica** en mi centro de *Practicum* por motivos de logística, pues, como se verá a lo largo de la memoria, por sus características (adquisición de conceptos teóricos a lo largo del curso, salida de campo, prácticas de laboratorio y organización del currículo para que se pueda llevar a cabo la unidad didáctica del Proyecto de Investigación), la propuesta necesariamente debe ir incluida en la programación didáctica anual de la asignatura.

Esta propuesta se podría poner en marcha en cualquier centro de educación secundaria obligatoria de Zaragoza o de sus alrededores, sin importar mucho las *características intelectuales* de los alumnos del centro, aunque deberíamos atender a otros factores². Si es un centro con estudiantes de los considerados *buenos*, la actividad podría tener buenos resultados en el plano académico. Si, por el contrario, los alumnos son de los considerados *no muy buenos o problemáticos*, el resultado también podría ser satisfactorio porque al desarrollar actividades de diferentes tipos, dos de ellas fuera del aula, las posibilidades de que algunas de ellas les atraiga son mayores (Bermúdez, 2012). Y, aunque es cierto que llevarla a cabo en centros de la capital aragonesa o en centros cercanos a ella es más cómodo, su puesta en marcha en centros más alejados de la capital no es imposible, solo necesitaría unas pequeñas adaptaciones.

OBJETIVOS

El objetivo de esta propuesta didáctica es enseñar a los alumnos a realizar un trabajo geológico de investigación utilizando los conocimientos teóricos tratados en clase. Concretamente deben aplicar sus conocimientos teóricos sobre las rocas sedimentarias, los fósiles, la teoría de la tectónica de placas y el tiempo geológico al estudio de las condiciones paleoambientales, paleoecológicas y paleogeográficas en la que se encontraba la localidad turolense de Santa Cruz de Nogueras hace aproximadamente 410 millones de años, durante el Devónico Inferior, y reconstruir su historia geológica para ese periodo de tiempo. Además, deberán inferir los procesos geológicos que han hecho posible que esos sedimentos, que se depositaron en una plataforma continental (y, por tanto, bajo el agua), y los organismos que allí habitaban se encuentren hoy día a 900 metro de altitud y sean accesibles a todos nosotros.

Para que los alumnos puedan llevar a cabo este trabajo deberán ser capaces de reconocer los diferentes tipos de rocas sedimentarias que afloran en Santa Cruz de Nogueras, asignarles a cada una de ellas su ambiente sedimentario dentro de una plataforma continental e inferir a que se debe la alternancia entre ellas (areniscas-lutitas y lutitas-calizas). Tendrían que reconocer los diferentes tipos de fósiles que hallen en ella para, de esta forma, corroborar que le han asignado un ambiente de depósito correcto a los sedimentos que dieron lugar a esas rocas. Deberán, además, localizarse geográficamente (latitud, longitud y altitud), medir la potencia y el buzamiento de los estratos y utilizar convenientemente esa información (¿qué puede determinar el que los estratos sean más o menos gruesos?, ¿a qué puede ser debido que estén plegados?, ¿cómo es posible que veamos materiales que se depositaron bajo el mar a 900 metros de altura?, etc.) e integrar esa información en sus conocimientos sobre la tectónica de placas. En el laboratorio deberán estudiar al microscopio petrográfico las rocas vistas en el campo y hacer una interpretación de sus rasgos texturales en términos de las características del transporte y del medio de sedimentación para completar las observaciones de campo.

² Me parece una propuesta difícil de llevar a cabo para estudiantes que necesiten adaptaciones curriculares importantes. También sería complicada ponerla en práctica si en el aula hay alumnos con cierto tipo de minusvalías. Por ejemplo, un estudiante invidente no podría llevarla a cabo. Sin embargo, si se podría adaptar para que un estudiante con movilidad reducida pudiera participar en ella.

MARCO GEOLÓGICO DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN DIRIGIDA

La localidad turolense de Santa Cruz de Nogueras (zona geográfica donde se desarrollará la actividad que propongo) está situada en la Cordillera Ibérica, en la denominada Cadena Ibérica Oriental (Figura 1) y en ella afloran, en una sucesión continua, materiales del Silúrico Superior y del Devónico Inferior, aunque en esta propuesta sólo veremos las formaciones Santa Cruz y Mariposas, ambas del Devónico Inferior.

Durante este periodo geológico esta región (junto con lo que hoy día es la Cordillera Ibérica) formaba parte de la plataforma continental del supercontinente de Gondwana y estaba situada en una posición geográfica de aproximadamente 50°S, similar a la que las Islas Malvinas o el extremo sur de Nueva Zelanda ocupa hoy día.

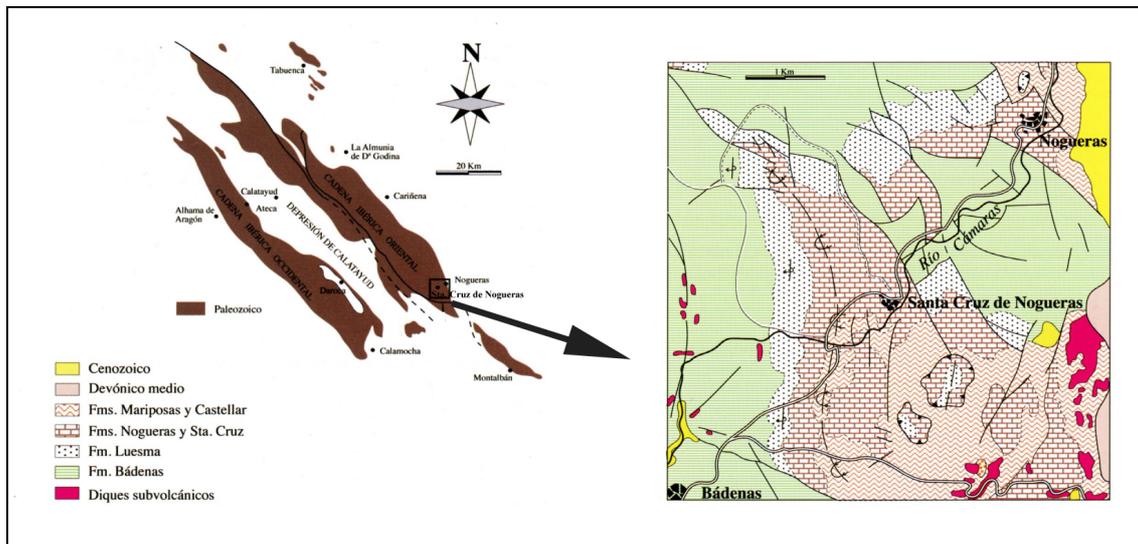


Figura 1 – Situación geológica de Santa Cruz de Nogueras dentro de la Cadena Ibérica Oriental.

La Formación Santa Cruz (Figura 2), de edad Pragiense medio-superior, tiene un espesor de poco más 280 metros y se caracteriza por su litología detrítica (predominio de lutitas en su base y de areniscas hacia su techo), aunque en su parte central se reconocen algunos estratos calcáreos. Estos sedimentos se fueron depositando en un ambiente marino caracterizado por un descenso general de la profundidad del nivel de mar, aunque con diversos episodios puntuales de profundización (Herrera y Villas, 2013). Según estos mismos autores, la parte superior de esta formación representa un ambiente marino de aguas someras y agitadas (confirmado por abundantes ripples simétricos), en las cuales pocos fueron los organismos capaces de desarrollarse, aunque la presencia de pistas fósiles en estos sedimentos indica que algunos sí tuvieron la capacidad para adaptarse a ese ambiente tan agitado.

La Formación Mariposas (Figura 3), de edad Pragiense superior-Emsiense inferior, tiene un espesor aproximado de 200 metros. Su parte inferior está compuesta por bancos carbonatados desarrollados en una plataforma profunda, con un alto contenido en fósiles que fueron arrastrados desde zonas más someras en episodios de tormenta. La parte superior está formada por grandes paquetes de lutitas pizarrosas oscuras separadas por pequeños estratos calcáreos, que representan ambientes relativamente profundos de aguas limpias y tranquilas. En esta formación podemos encontrar la mayor parte de los fósiles característicos de este periodo (corales rugosos y tabulados, braquiópodos, trilobites, tentaculites, briozoos ramosos, conularias etc.;

Herrera y Villas, 2013).



Figura 2 – Vista general de la parte superior de la Formación Santa Cruz (Devónico Superior, Pragiense medio-superior), en el corte del Pozo de la Caldereta.

FUNDAMENTACIÓN GEOLÓGICA

La fundamentación científica de esta propuesta de *investigación dirigida* es muy amplia, pues abarca tres campos conceptuales de la Geología: rocas sedimentarias, fósiles y tectónica de placas. Estos campos conceptuales tienen por sí mismos una fundamentación teórica extensa y complicada, pues son muchos los investigadores que se dedican a desgranar cada uno de los contenidos por separado, generando subdisciplinas dentro de estos campos. En este apartado dejaré reducida la fundamentación geológica de mi propuesta a las cuestiones generales más importantes y a las particulares que son necesarias para el desarrollo de la propuesta de investigación dirigida. El concepto de tiempo geológico está presente, me atrevería a decir, en todos los campos conceptuales de la Geología, pero no lo vamos a fundamentar aquí de forma independiente. Sin embargo, comprender este concepto es fundamental cuando hablamos de los procesos geológicos, aunque soy consciente de la dificultad que representa su entendimiento para todo aquel que no tenga una buena preparación en Geología. Por lo tanto, me parece necesario, al menos, conocer cuáles son las ideas previas que tienen los alumnos sobre el tiempo geológico y a qué se deben estas ideas y, siendo así, lo trataré en el apartado de ideas alternativas.

LUTITAS, ARENISCAS Y CALIZAS: ¿QUÉ SON Y CÓMO SE FORMAN?

En la naturaleza encontramos tres tipos de rocas: ígneas, metamórficas y sedimentarias. Las rocas ígneas se forman siempre a partir de un magma: si éste

crystaliza en profundidad da lugar a una roca plutónica y si lo hace en superficie a una roca volcánica; las rocas metamórficas proceden de la transformación textural o mineralógica en estado sólido de una roca previa, sea esta ígnea o sedimentaria, como consecuencia del aumento de la temperatura y la presión; y finalmente, las rocas sedimentarias, en las que me centraré, son el resultado de la meteorización de una roca previa, el transporte de los producto de meteorización, su depósito en cuencas de sedimentación y la diagénesis del sedimento resultante (Jambon y Thomas, 2009).

En este apartado, como acabo de mencionar, me centraré exclusivamente en las rocas sedimentarias, pero las abordaré de una forma muy general, pues únicamente tendré en cuenta los aspectos que me parezcan más importantes para que los alumnos puedan llevar a cabo la actividad que propongo en este trabajo. Por lo tanto, los subapartados siguientes están muy simplificados.



Figura 3 – Banco carbonatado de la parte inferior de la Formación Mariposas (Devónico Superior, Pragiense superior-Emsiense inferior) en los alrededores de la zona conocida como “Molino del pueblo”.

Clasificación de las rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se pueden clasificar de una forma sencilla atendiendo a la forma en la cual los productos de meteorización llegan a la cuenca sedimentaria: como partículas sólidas (rocas detríticas) o disueltos (rocas sedimentarias de precipitación química o bioquímica). Las rocas detríticas se subdividen en función del tamaño de las partículas o granos que las constituyen: cuando éstas son mayores de 2 mm hablamos de conglomerados (si son redondeados) y de brechas (si son angulosos); cuando los granos tienen un tamaño comprendido entre 2 mm y 1/16 mm hablamos de areniscas; y cuando son menores de 1/16 mm hablamos de lutitas, que son las rocas detríticas más abundantes, seguidas de las areniscas. Hay que tener en cuenta que en la literatura encontraremos con mucha asiduidad la palabra *clasto*, que hace referencia

exclusivamente a las partículas o granos de la clase granulométrica mayor para cada roca detrítica. Así, en los conglomerados los clastos son las partículas de más de 2 mm, mientras que a las que están por debajo de ese tamaño se las denomina *matriz*; en las areniscas los clastos son las partículas comprendidas entre 2 mm y 1/16 mm y la matriz las que son menores de 1/16; y en las lutitas, al haber únicamente una clase granulométrica, no se habla de clastos y matriz. Los minerales más importantes que componen las rocas detríticas son el cuarzo y los minerales de la arcilla, que en gran medida provienen de la alteración de los feldespatos (Jambon y Thomas, 2009).

La forma de los clastos que componen las rocas detríticas y su selección (rango de tamaños en una misma roca) nos aportan una información muy valiosa sobre el tipo y la duración del transporte. En el módulo teórico nos centraremos en el transporte de partículas en un medio acuoso, por ser el más común de todos: cuando éste ha sido muy largo los clastos están muy bien redondeados y su selección es buena (predomina un solo tamaño de grano); por el contrario, cuando el transporte es corto los granos son angulosos y la selección mala (tamaños de granos muy variados en una misma roca).

Las rocas sedimentarias de precipitación química o bioquímica se forman por la precipitación de especies químicas (aniones y cationes principalmente) disueltas en el agua. Entre los aniones más abundantes está el ión carbonato (CO_3^{2-}) y entre los cationes más abundantes el Ca^{2+} . Estas dos especies al precipitar dan lugar a la calcita, el mineral principal de las calizas, las rocas sedimentarias de origen químico más abundantes en la corteza continental (Jambon y Thomas, 2009).

Medio de depósito

La mayor parte de los sedimentos que dan lugar a las areniscas, las lutitas y las calizas se depositan en medios marinos someros, en la zona denominada plataforma continental. En estas plataformas suele haber una distribución ordenada de estos sedimentos con respecto a la costa, de manera que las arenas son las más cercanas a la línea de costa, seguida de los sedimentos arcillosos, hecho que está condicionado por el tamaño de las partículas (cuanto mayor es una partícula antes se deposita). La precipitación del carbonato se puede producir en toda la plataforma, tanto cerca como lejos de la costa, pero solo cuando la sedimentación detrítica es muy escasa, lo que ocurre generalmente lejos de la costa; estos carbonatos darán lugar a calizas. Es importante señalar que a un ritmo de sedimentación “normal” un sedimento tarda alrededor de 10 m.a. en alcanzar una profundidad de entre 2 y 3 km; profundidad suficiente para empezar a hablar de roca en vez de sedimento (Zalasiewicz, 2010).

Para finalizar con las rocas sedimentarias, debemos resaltar que, dado su origen y la manera en la que se forman, son las rocas que contienen prácticamente el 100% de los fósiles. El pequeñísimo porcentaje que falta se encuentran en roca metamórfica de grado muy bajo procedente de rocas sedimentarias y, como algo anecdótico, en algunas rocas formadas a partir de cenizas volcánicas.

LOS FÓSILES: ¿QUÉ SON Y CÓMO SE FORMAN?

Los fósiles son restos de los organismos que habitaron la Tierra en una época anterior a nosotros y que han quedado conservados en las rocas. Estos restos pueden ser *fósiles corporales*, cuando lo que fosiliza son las partes duras o esqueléticas de los organismos; *moldes*, formados cuando los restos corporales se disuelven, por ejemplo

por procesos diagenéticos, dando lugar a moldes externos o internos; y señales de la actividad de los organismos (alimentación, cobijo, desplazamiento, etc.), conocidas de forma general como *pistas fósiles*. Las partes blandas de los organismos solo fosilizan en condiciones excepcionales y no las tendremos en cuenta en este apartado (Scott, 1975).

La fosilización de las partes esqueléticas de un organismo es un proceso muy complicado, pues es necesario que éstas queden cubiertas por el sedimento en un periodo de tiempo corto para evitar que sean destruidas por los agentes externos. Una vez enterradas se produce su mineralización y permanecen en esas condiciones hasta que por los procesos geológicos o por la intervención directa del hombre lleguen hasta nosotros y puedan ser estudiados. De forma general podemos afirmar que, una vez un resto orgánico ha sido incluido en un sedimento, el proceso de fosilización es parejo a la consolidación y litificación del sedimento, y su mejor o peor conservación va a depender de los procesos geológicos que afecten a la roca que lo contiene.

Es importante señalar que en el registro fósil solo queda incluido un número muy pequeño de individuos de las especies que habitaron la Tierra en el pasado (Scott, 1975).

La disciplina general que estudia los fósiles es la Paleontología pero, debido a la gran utilidad que éstos tienen para el estudio de la Tierra, se han desarrollado dentro de ella diferentes ramas. Por ejemplo, la *Paleobotánica*, que estudia los restos de plantas del pasado; la *Paleobiología*, que estudia la evolución de los seres vivos y sus relaciones filogenéticas haciendo uso de los fósiles; la *Bioestratigrafía*, que utiliza los fósiles para establecer la edad de los estratos y correlacionarlos en diferentes partes del mundo; la *Paleogeografía*, que estudia la distribución espacial de los organismos y define, a partir de esta distribución, la posición de los continentes en el pasado y sus conexiones; y la *Paleoecología*, que, a partir del estudio de los restos fósiles, reconstruye los ambientes y los ecosistemas en los que estos se desarrollaron. Esta última es la rama de la Paleontología que más nos interesa en esta propuesta, pues el tipo de fósil que encontremos en una roca nos dará información sobre la profundidad de las aguas, la turbidez de las mismas, la velocidad de sedimentación, etc.

LA TECTÓNICA DE PLACAS: INTERÉS PARA ESTA PROPUESTA

La Tectónica de Placas es la teoría científica que describe el movimiento a gran escala de la litosfera terrestre como consecuencia de la dinámica convectiva del manto. Esta teoría se fundamenta en las ideas previas de la *deriva continental* (desarrollada en las primeras décadas del siglo XX por Alfred Wegener) y de la *expansión del fondo oceánico* en los años 50 y 60 del siglo pasado, que sirvió para eliminar todas las trabas teóricas que existían para aceptar la deriva continental como una hipótesis científica válida.

La *litosfera* es la capa más externa de la Tierra. Está formada por la corteza y por parte del manto superior y se diferencia de la capa inmediatamente inferior, la *astenosfera*, por ser rígida. Esta litosfera no es continua sino que está rota en ocho grandes *placas tectónicas* (como la placa Euroasiática, que incluye a casi toda Asia y Europa) y en un número mayor de pequeñas placas (como la placa Ibérica). Donde dos placas se juntan, su movimiento relativo determina el tipo de borde que forma: convergente, divergente o transformante. Es en estos bordes de placa donde se

concentra casi toda la actividad geológica del planeta: volcanes, terremotos y formación de montañas (orogenias). El movimiento de las placas se produce a una velocidad media de unos 2,5 cm/año. Hay placas que están formadas solo por corteza oceánica (como la placa Pacífica) y otras por corteza continental (como la placa Africana). Precisamente el movimiento de las placas con corteza continental con respecto a otras placas con corteza oceánica es lo que hace que los continentes se hayan desplazado y se desplacen en latitud y en longitud a lo largo de la historia geológica y que, cuando finalmente dos placas con corteza continental chocan, los dos continentes se fusionen en uno solo y en la zona de colisión se forme una cadena de montañas. De esta teoría lo que más interés tiene en esta propuesta es la deriva continental y la formación de montañas, por su relación con la paleogeografía.

Este proceso, el de formación de montañas, es vital para rejuvenecer la superficie de la Tierra. Si no fuera por él, la erosión acabaría con todos los relieves en unas pocas decenas de millones de años, impidiendo a partir de ese momento la formación de nuevas rocas sedimentarias detríticas al cortocircuitar el ciclo exógeno de meteorización-transporte-sedimentación, ya que sin relieve no hay transporte y sin transporte no hay sedimentación. Por eso las orogenias son necesarias, y lo son por un doble motivo: primero, para mantener la superficie de los continentes por encima del nivel del mar y que así permanezcan activos los procesos de meteorización y transporte; y, segundo, para que rocas que se han formado en el interior de la Tierra, tanto a gran profundidad (rocas metamórficas y rocas plutónicas), como a poca (rocas sedimentarias), alcancen la superficie y sirvan de materia prima a los procesos exógenos. De hecho, esta parte esencial del ciclo de las rocas (la erosión de las capas superficiales para dejar expuestas rocas formadas a más profundidad) solo puede darse si la Tectónica de Placas funciona, hace mover unas placas con respecto a otras y, de vez en cuando, provoca la colisión de dos placas continentales, formándose una nueva cadena de montañas, con lo que el ciclo de rejuvenecimiento del paisaje se repite. A este ciclo, que tiene una duración de 300 a 500 millones de años, se le denomina ciclo de Wilson.

FUNDAMENTACIÓN DIDÁCTICA DE LA PROPUESTA

Son numerosos los autores que denuncian que la forma de enseñar ciencia en los diferentes niveles educativos provoca en muchas ocasiones el rechazo de los estudiantes que se enfrentan a ella, pues se trata de que aprendan de memoria una serie de conceptos a los que no les encuentran ninguna utilidad (Calatayud, Gil y Gimeno, 1992 y Linder, 1993, entre ellos). Este hecho está haciendo que desde la Didáctica de la Ciencia se abogue por enfoques alternativos a los basados exclusivamente en la transmisión unidireccional de saberes (Campanario y Moya, 1999). Uno de estos enfoques es el *aprendizaje de las ciencias por un proceso de investigación dirigida*, puesto en marcha por Gil (1993) y que, desde entonces, ha tomado mucho auge en la enseñanza de las Ciencias Naturales (Perales, 1998 y Campanario y Moya, 1999). El proceso de enseñanza consistente en la investigación dirigida es el que quiero poner en marcha con mi propuesta.

En este apartado abordaré la fundamentación teórica del *proceso de investigación dirigida* y la de las prácticas o actividades necesarias para llevar a cabo dicha investigación (que recordemos se enmarca dentro del campo de la Geología): *las prácticas de campo y las prácticas de laboratorio*, así como la fundamentación teórica de las *bases de orientación*, una herramienta didáctica muy útil para dirigir la atención

de los alumnos hacia los aspectos más importantes e interesantes de un tema concreto. Terminaré el apartado discutiendo cuál es la mejor forma de evaluar a los alumnos para que las actividades desarrolladas durante el proceso de investigación formen parte activa de su aprendizaje y no se convierta simplemente en la obtención de una calificación numérica.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN DIRIGIDA

Según Perales (1998) el aprendizaje por investigación en niveles educativos de secundaria y bachiller debería integrar la forma en la que trabajan los científicos noveles, aunque el autor es consciente de que la extrapolación no puede ser “mimética” pues científicos noveles y alumnos de secundaria y bachiller no se encuentran al mismo nivel. Campanario y Moya (1999) recopilan las estrategias que Gil (recordemos que fue quien puso en marcha la idea de la investigación dirigida en niveles educativos no universitarios) y sus colaboradores aconsejan que se deben seguir para que este tipo de actividades tengan éxito. Lo más importante sería plantear una situación que fuese interesante para los alumnos y acotarla; a continuación los alumnos deberían analizar cualitativamente la situación ayudándose de la bibliográfica adecuada; el profesor debe orientar científicamente a los alumnos en la elaboración de sus hipótesis; y, finalmente, deben aplicar los conocimientos adquiridos a nuevas situaciones para profundizarlos y afianzarlos. Para Izquierdo (1998), cuando los alumnos ponen en práctica este último punto de forma exitosa, podemos asegurar que han avanzado en su aprendizaje científico. Finalmente, Gil y sus colaboradores proponen que los alumnos recojan sus actividades de investigación en esquemas, memorias, mapas conceptuales, etc.

Pero Campanario y Moya (1999) también señalan que poner en práctica esta forma de aprendizaje tiene sus dificultades. Una de ellas estaría relacionada con la capacidad investigadora de los alumnos, que al no estar muy desarrollada implica siempre plantear temas muy sencillos, que deben estar muy planificados para que el profesor pueda anticiparse a las dificultades que surjan durante el desarrollo de las actividades y subsanarlas. Otro problema radicaría en que estas actividades requieren un tiempo que solo se conseguiría suprimiendo otros contenidos curriculares, y habría que elegir cuales se dejan atrás. Y, el último apunta a que esta forma de aprendizaje es nueva para los alumnos y puede que no estén dispuestos a hacer el esfuerzo correspondiente para adaptarse a ella.

En la subsanación del primero de los problemas mencionado por Campanario y Moya (1999) el papel del profesor es fundamental, pues tanto su actitud como su aptitud van a ser decisivas para *enganchar* a los alumnos en esta nueva modalidad de aprendizaje. En él recae la dirección de la investigación. En esta situación las preguntas que el profesor realice a sus alumnos pueden llevar al éxito o al fracaso de la actividad investigadora. A este respecto, Márquez y Roca (2006) señalan la importancia que tienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias el *tipo de preguntas* que un profesor hace a sus alumnos y el tipo de preguntas que hacen ellos mismos. Además, estos autores inciden en la necesidad de diseñar actividades escolares que favorezcan e inciten a los alumnos a preguntarse cómo se elabora el conocimiento científico y cuál es la solvencia de un determinado conocimiento a la hora de responder a las preguntas planteadas; en definitiva, enseñar a los alumnos a hacer ciencia. Más recientemente, Sanjosé y Torres (2010) investigaron sobre cómo cambia el tipo de preguntas realizadas por los estudiantes de Física y Química de 4º de la E.S.O., o la forma en la que aprenden los alumnos, en función del medio didáctico en el cual se desarrolle la práctica

docente (laboratorios, museos interactivos, etc.). Estos autores llegaron a la conclusión de que, cuando un estudiante tiene que resolver un problema y puede manipular los instrumentos que le ayuden a entender dicho problema, sus preguntas están generalmente dirigidas a la fundamentación teórica de la cuestión a resolver; sin embargo, cuando los alumnos deben resolver un problema, pero los instrumentos para resolverlo sólo los conocen por imágenes y, por tanto, no pueden “enredar” con ellos, sus preguntas versan fundamentalmente sobre cuestiones relacionadas con dichos instrumentos, dejando la fundamentación teórica del problema abandonada. No he encontrado investigaciones similares a la realizada por Sanjosé y Torres (2010) para la disciplina de Geología, pero seguramente el resultado sería similar: un alumno que observa, por ejemplo, una sucesión de rocas sedimentarias en el campo seguramente hará preguntas con más fundamento científico que si se limita simplemente a verlas en sus libros de texto.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS PRÁCTICAS DE CAMPO

La bibliografía relacionada con la importancia de trabajar de forma práctica en el campo los conceptos geológicos tratados en clase es amplia, y parece haber un consenso general sobre lo adecuado que resultan estas prácticas para el aprendizaje de la Geología en alumnos de secundaria y bachiller. Sin embargo, por diversos motivos muchos de los alumnos de secundaria y bachiller que cursan la asignatura de Geología no han salido al campo jamás.

En 1991, con la LOGSE recién estrenada, García de la Torre (1991) señala que es un buen momento para que los profesores de Geología de secundaria y bachiller dejen de considerar las prácticas de laboratorio y de campo como meros accesorios de la teoría vista en clase y pone de manifiesto la importancia de estas prácticas didácticas para que el alumno construya un aprendizaje contextualizado y significativo de la Geología. Unos años más tarde García de la Torre, Sequeiros y Pedrinaci, (1993) vuelven a remarcar la importancia de las prácticas de campo en una disciplina como la Geología, con un componente visual tridimensional tan importante. Los autores de este trabajo señalan que ver *in situ* pliegues, fallas, fósiles, etc. es la mejor forma de mejorar la visión espacial y de que los alumnos sean capaces de construir buenos modelos mentales. A la construcción de modelos mentales recurre Paschoale (1988) cuando afirma que, si los alumnos no ven con sus propios ojos las diferentes estructuras geológicas, sus modelos no serán correctos y, por tanto, no serán útiles para realizar interpretaciones.

Brusi (1992a) afirma de una forma casi literaria que “las salidas de campo proporcionan la posibilidad de inmersión en la apasionante realidad del entorno natural. No tenemos que desaprovechar las posibilidades de seducción que esconden, por ejemplo, el vuelo de un ave, el misterio de un fósil [...] para reconducir nuestra tarea docente hacia una sensibilización medioambiental, una actitud de descubrimiento y una metodología de trabajo científica para llevarnos al fin a un conocimiento científico”. Con estas palabras tan poéticas nos está diciendo que es imposible hacer Ciencias Naturales encerrados en un aula, pues la observación directa es esencial para el conocimiento científico. Pero el mismo autor, en otro trabajo posterior (Brusi, 1992b), afirma que, además de la importancia que tienen las salidas de campo en el área de las Ciencias Naturales, no hay que perder de vista que la metodología utilizada por los docentes en estas actividades influye de forma directa y decisiva en el aprendizaje de los alumnos.

Enlazando con Brusi (1992b), Pedrinaci, Sequeiros y García de la Torre (1994), en su artículo sobre “El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geología”, vuelven a incidir sobre lo adecuado de las salidas de campo en Geología para que los alumnos tengan un aprendizaje significativo e integrado, pero también señalan que no todas las salidas de campo con los alumnos tienen el mismo valor, y que éste va a depender de cómo el profesor haya diseñado la actividad. Los autores hacen una clasificación de los tipos de salidas más habituales y las dividen en cuatro grupos: (1) la salida tradicional: el profesor *Cicerone* (poco significativa porque el alumno se limita a escuchar al profesor); (2) la salida como descubrimiento autónomo: el alumno construye el conocimiento por sí mismo; (3) la guía de observación como sustituto del profesor: el profesor instruye a los alumnos en el aula, pero ellos son los responsables de su aprendizaje en el campo; y (4) la salida como tratamiento de problemas: modelo alternativo que plantea un problema en clase y la salida al campo se convierte en la única alternativa para resolverlo.

Más recientemente, Brusi, Zamorano, Casellas y Bach. (2011a) proponen una serie de actividades de aprendizaje para llevar a cabo en el campo, en las cuales se trabajan las Competencias Básicas (con la nueva ley educativa, LOMCE, Competencias Clave) y desarrollan un portal informático denominado “CEOCAMP” (Brusi *et al.*, 2011b) donde los profesores pueden encontrar actividades útiles para desarrollar en el campo con sus alumnos.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

En cuanto a los beneficios tan importantes que aportan las prácticas de laboratorio en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales, el acuerdo por parte de profesores e investigadores de la Didáctica de las Ciencias es, como ocurría con las prácticas de campo, unánime. López y Tamayo (2012) afirman que las actividades experimentales, en las cuales están incluidas las prácticas de laboratorio, son importantes porque despiertan y desarrollan la curiosidad de los alumnos y deben servir para algo más que para apoyar las clases teóricas. Estos autores se lamentan de que, a pesar de la unanimidad por parte de los docentes en torno a la importancia de las prácticas de laboratorio, los conceptos teóricos de las ciencias experimentales tienen una valoración mucho más positiva que los conceptos prácticos, y que las prácticas se realizan mayoritariamente como actividades en las cuales los estudiantes siguen una *receta* sin que éstos entiendan realmente qué es lo que hacen y por qué lo hacen. En definitiva, proponen abandonar la perspectiva *instruccional* de las prácticas y abordarlas desde una perspectiva *constructivista*, donde teoría y práctica sean complementarias y el profesor actúe como un guía que facilite el aprendizaje significativo de los estudiantes.

Para Bermúdez (2012) las prácticas de laboratorio son muy importantes para los alumnos porque el ambiente que se crea en ellas favorece la coexistencia de diferentes tipos de aprendizajes llegando, de este modo, a un número mayor de ellos. Según este autor, este tipo de prácticas son fundamentales también para los estudiantes de magisterio, pues estos futuros maestros deberían más tarde llevarlas a cabo con sus estudiantes y sentirse cómodos mientras las realizan, hecho que en la actualidad no ocurre. Esta afirmación de Bermúdez (2012) está basada en el “Informe Rocard” que la OCDE redactó en el año 2006 y en el informe “*Europe needs more scientists*” redactado en el año 2004 por la Comisión Europea. En ambos informes se apunta como uno de los factores importante del progresivo desinterés que muestran los alumnos ante la ciencia a los profesores de primaria, a los que acusan de transmitir los conocimientos científicos

de forma unidireccional (transmisión-recepción) y de plantear a los alumnos actividades puramente memorísticas.

Morcillo, García, López y Mejías (2006) nos hablan sobre el uso que pueden tener las TIC en la construcción de *laboratorios virtuales*. Para estos autores este tipo de laboratorios son lugares informáticos que simulan prácticas realizadas generalmente de forma tradicional, pero que dan solución a las limitaciones que muchas de ellas tienen, como el problema del espacio, el tiempo para llevarlas a cabo, su posible peligrosidad, etc. En definitiva, se trata de que los alumnos hagan mediante programas informáticos lo “mismo” que harían en el laboratorio.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS BASES DE ORIENTACIÓN

Afirman García y Sanmartí (1998) que aprender a utilizar la teoría, o el pensamiento teórico, tal y como hacen los científicos, resulta una tarea dura y complicada para los estudiantes de ciencias. Esta complicación se produce porque los estudiantes, además de integrar conceptos teóricos, que generalmente se les enseña sin ninguna o con poca conexión entre ellos, deben aplicar estrategias de pensamiento de categorización, formalización, etc. Estas autoras sugieren que una forma conveniente de desarrollar estas estrategias de pensamiento científico son las *bases de orientación*, pues esta herramienta didáctica permite, a partir de preguntas estratégicamente formuladas (Márquez y Roca, 2006), focalizar la atención de los alumnos hacia los aspectos más importantes y necesarios para desarrollar cualquier actividad.

Arellano y Merino (2005) consideran que las bases de orientación construidas conjuntamente entre profesores y alumnos ayudan a éstos últimos a autorregular su aprendizaje, pues a medida que las diseñan van descubriendo cuáles son sus mecanismos mentales de razonamiento y, además, les ayuda a tener una mayor autonomía en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA EVALUACIÓN

De una forma sencilla, Sanmartí (2007) define la evaluación como el “proceso de recogida y análisis de información destinado a describir la realidad, emitir juicios de valor y facilitar la toma de decisiones”. Según está misma autora el proceso de evaluación tiene dos finalidades principales. La primera es de carácter social y está destinada a demostrar ante los alumnos, los padres, etc. que los estudiantes han alcanzado un determinado nivel de conocimientos al finalizar una etapa educativa (por ejemplo, al finalizar la E.S.O.); a este tipo de evaluación se la denomina *calificación o evaluación sumativa*. La segunda finalidad es de carácter pedagógico o reguladora y está destinada a identificar cuáles son los cambios necesarios que se deben aplicar en el proceso de enseñanza para que el proceso de aprendizaje de los alumnos sea más exitoso; se trata de detectar los errores que cometen los alumnos y ayudarles a superarlos cambiando la forma de enseñar. A este respecto, Perrenoud (1993) ya afirmaba que la evaluación de una determinada materia debería estar centrada en el diseño de un conjunto de actividades destinadas a detectar los errores de los alumnos, en estudiar y comprender la causa de dichos errores y en decidir las acciones pertinentes para superarlos. Este tipo de evaluación destinada a la mejora del proceso de aprendizaje recibe el nombre de *evaluación formativa*.

La evaluación formativa ha recaído tradicionalmente en los docentes, pues ellos

han sido los encargados de detectar las dificultades mostradas por los alumnos en su aprendizaje y de proponer las medidas necesarias para solucionar dichas dificultades. Pero, según Sanmartí (2007), está comprobado que los alumnos sólo son capaces de corregir sus errores cuando saben dónde se han equivocado y por qué lo han hecho, y propone que los profesores compartan con los alumnos el proceso de evaluación, pudiendo hacerlo de dos formas complementarias: los alumnos se autoevalúan y, además, son coevaluados por sus compañeros. Según esta autora, los resultados obtenidos en la mejora del proceso de aprendizaje en los centros donde se ha puesto en marcha esta práctica son muy satisfactorios.

La evaluación de las actividades que los alumnos deberán realizar en esta propuesta didáctica tiene como objetivo analizar su proceso de aprendizaje y cuantificar el grado de cumplimiento de los objetivos fijados al diseñar la propuesta. Estoy plenamente de acuerdo con Sanmartí (2007) sobre lo beneficioso que resulta para el proceso de aprendizaje la evaluación formativa, y de cómo estos beneficios se incrementan cuando los alumnos participan en la evaluación (autoevaluación y coevaluación) y, en consecuencia, aplicaremos este tipo de evaluación en la propuesta. Pero, desgraciadamente, con más frecuencia de la deseada, los alumnos trabajan en función de la calificación que puedan obtener y, por tanto, las actividades también serán calificadas cuantitativamente.

Para finalizar este apartado de fundamentación teórica, me gustaría volver a incidir, citando a García (1995), en la importancia que tienen para el proceso de aprendizaje de los alumnos, que las actividades planteadas, cualesquiera que sean (de campo, de laboratorio, etc.), *estén bien organizadas y tengan un objetivo claro*, el cual se les hará explícito a los alumnos. Para esta autora lo primero que debe hacer el profesor, antes de comenzar cualquier actividad, es preguntarse sobre lo que quiere que aprendan sus alumnos y, a partir de ahí, diseñar el tipo de práctica más adecuada. Una vez diseñada la práctica, es importante planificarla, redactar un guión detallado sobre su secuenciación, probar su funcionamiento y decidir con antelación cuál será el tipo y los procedimientos de evaluación; en definitiva, *fundamentarla* en todos sus aspectos.

IDEAS ALTERNATIVAS EN LOS ALUMNOS

La Didáctica de la Ciencia lleva años investigando sobre cómo las ideas previas o alternativas que tienen los alumnos sobre un determinado concepto influyen en su aprendizaje. Según Ramos, Praia, Marqués y Pereira (2001) estas ideas pueden tener varios orígenes, pero las más frecuentes son debidas a factores perceptivos o sensoriales (cómo ven e interpretan los alumnos la realidad) y a factores relacionados con el ambiente social en el cual se desarrollan los alumnos (familia, amigos, etc.).

Son muchos los autores que coinciden en la importancia que tiene para los profesores de ciencia conocer con qué ideas alternativas, sobre diferentes cuestiones científicas, llegan sus alumnos a las aulas, pues estas ideas les deberían servir como punto de partida para la construcción de las estrategias pedagógicas-didácticas que van a desarrollar en la impartición de los diferentes contenidos curriculares (Pedrinaci, 1996; Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos, 1996; Gallegos, 1998; y Ramos et al. 2001; entre otros). Para Martín y Rivero (2001) el conocimiento de las “concepciones de los alumnos” es fundamental para que los docentes conozcan los obstáculos que deberán superar los alumnos para la construcción de modelos conceptuales *correctos*.

Sequeiros et al. (1996) afirma que la enseñanza de la Geología en la Educación Secundaria y en Bachiller debe enfrentarse, además de a las ideas alternativas que poseen los alumnos que la cursan, a las dificultades intrínseca de la propia disciplina, pues gran parte de los conceptos que deben conocer los alumnos les son o completamente lejanos en el tiempo o inaccesibles físicamente. Los autores anteriormente citados coinciden en que muchas de las ideas alternativas que arrastran los alumnos sobre temas geológicos están directamente relacionadas con la complejidad intrínseca de la materia. En este apartado haré un breve repaso sobre las ideas alternativas más extendidas entre los alumnos de Educación Secundaria y Bachiller sobre los conceptos de mineral, roca, tiempo geológico, fósil, deriva continental y formación de las montañas, por ser muy importantes para el desarrollo de la propuesta didáctica que expongo en este Trabajo Fin de Master. Al hablar de estas ideas alternativas veremos que existe una conexión importante entre ellas (mineral-roca, roca-tiempo geológico, tiempo geológico-fósil y fósil-montaña) y seremos conscientes de la necesidad de que los alumnos las abandonen de forma conjunta para que el proceso de enseñanza tenga éxito.

IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE LAS ROCAS Y LOS MINERALES

Según Pedrinaci (1996) uno de los errores conceptuales más habituales con los que se encuentran los profesores en el aula es la confusión que muestran los alumnos ante los términos mineral y roca, pues no saben exactamente donde colocar el límite entre ambos. Según este autor, los alumnos asocian el concepto de mineral a una muestra de pequeño tamaño y brillante, sin tener en cuenta el número de cristales que la compongan, y por el contrario, asocian el concepto de roca a muestras de mayor tamaño, sin tener en cuenta si esta muestra está formada por uno o varios cristales. En este mismo trabajo, Pedrinaci puntualiza que las definiciones que aparecen en los libros de texto son responsables en gran medida de la confusión que muestran los alumnos a la hora de describir y diferenciar estos términos. El mismo autor, al profundizar en el concepto de roca, afirma que un porcentaje muy importante (pero sin cuantificarlo) de estudiantes de secundaria y bachiller creen que las rocas que observamos tienen todas la misma edad y que esta edad es igual a la de la Tierra (excepto las rocas volcánicas) y, además, consideran que el único lugar donde se forman las rocas es en la superficie terrestre (rocas volcánicas y sedimentarias). Pedrinaci (1996) relaciona esta doble confusión con la imposibilidad de ver y asimilar (excepto para las rocas volcánicas) cómo, dónde y en cuánto tiempo se forma una roca.

Con posterioridad a Pedrinaci (1996), Ramos et al. (2001) presentan un estudio sobre las ideas alternativas que en aquellos momentos tenían un grupo de estudiantes portugueses de secundaria sobre “el ciclo de las rocas”. La metodología seguida por estos autores fue analizar las respuestas que 225 alumnos, con edades en torno a los 15 años, dieron a un cuestionario en el cual se les hacían diferentes preguntas sobre minerales, rocas, génesis de las rocas, deformación de las rocas, ciclo de las rocas, etc. Los resultados fueron los siguientes: un 46% de los alumnos pensaba que los minerales irremediamente tienen que formar parte de una roca, eran incapaces de concebirlos de forma aislada; el 36% de ellos afirmaba que los minerales son brillantes y muy pequeños y solo un 3% aludía a su carácter cristalino; un porcentaje importante de alumnos (no lo cuantifica) afirmaban que los minerales son sustancias muy raras y que solo existen en el subsuelo, pero al mismo tiempo había un porcentaje importante que creía que sustancias artificiales, como los ladrillos o el vidrio, son minerales. En lo que se refiere al concepto de roca, solo el 9% de los alumnos identificaban a una roca como

una mezcla química heterogénea; cerca del 35% identificaban las rocas como cuerpos sólidos, duros y grandes y, al igual que ocurría con los minerales, más de un 15% de los alumnos consideraban que los ladrillos, la porcelana o el cemento son rocas; por el contrario, para un 90% de los alumnos el carbón y el petróleo no lo son; solo el 40% de los estudiantes parecían conocer la existencia de tres tipos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas); para el 16% de los alumnos el tamaño de los minerales que constituyen la roca está determinado por la erosión que sufre la roca una vez que se ha formado, aunque estos minerales estén completamente rodeados por otros; y cerca del 17% no sabían qué relación existe entre un magma y una roca cristalina; solo un 14% de los alumnos asociaba los procesos de erosión con los de sedimentación y más del 72% no sabían cuál es la diferencia entre meteorización y erosión; un 43% de los alumnos pensaban que los estratos se pliegan cuando el sedimento aún no se ha solidificado; es más, para algunos alumnos los pliegues se forman al mismo tiempo que se deposita el sedimento, y solamente el 14% señalaban la acción de la fuerza y la presión como responsable de los plegamientos. Para finalizar, solo el 4% de los alumnos era capaz de concebir y entender que las rocas se forman unas a partir de las otras, pues el 43% creían que las rocas una vez formadas son indestructibles, y de este 43% un 11% no admitía que los procesos geológicos puedan transformar las rocas.

Con el objetivo de que los alumnos abandonen la idea errónea de la inmovilidad de las rocas, que muchos de ellos arrastran, Álvarez y García de la Torre (1999) proponen una serie de actividades y modelos analógicos para trabajar en el aula. Estos modelos tienen la finalidad de modelizar y clarificar la formación de las rocas detríticas haciendo que su origen sea más fácilmente comprensible para los alumnos.

IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE EL TIEMPO GEOLÓGICO

Vamos a ver ahora las ideas alternativas existentes respecto a la concepción del tiempo en Geología (o *tiempo geológico*). Según Pedrinaci (1993) y Pedrinaci y Berjillos (1994) el componente histórico de la Geología es el que la hace una ciencia independiente de la Física y la Química y por ello es necesario que los estudiantes de Geología de secundaria y bachiller comprendan el concepto de tiempo geológico, pues solo así serán capaces de formarse una “idea básica y mínimamente estructurada de la Geología”. Estos autores, junto con Sequeiros et al. (1996), afirman que a pesar de su importancia y de la dificultad de comprensión que este concepto presenta para los alumnos de estos niveles educativos, en los programas curriculares el concepto de tiempo geológico es casi irrelevante y se le presta escasa atención. Sequeiros et al. (1996) señala que uno de los problemas más importantes a tener en cuenta para que los alumnos puedan entender el concepto de “tiempo geológico” es que deben vencer la visión *estática y fijista* que tienen un gran número de ellos sobre la Tierra (ya mencionado en las ideas alternativas sobre las rocas). Pedrinaci (1998) alude a la dificultad que representa para los alumnos entender este concepto, pues abarca rangos temporales que escapan a la magnitud que ellos pueden experimentar. Según Sequeiros et al. (1996), para los alumnos resulta complicado entender que algo inanimado como una roca, por ejemplo, tenga una historia y evolucione con el tiempo.

Pedrinaci y Berjillos (1994) consideran el tiempo geológico un concepto complejo integrado por un conjunto de nociones básicas que están relacionadas entre sí: *cambios geológicos, facies, sucesión causal y cronología*. Para ellos la enseñanza del concepto “tiempo geológico” en secundaria debería afrontarse desde estas nociones básicas, teniendo en cuenta que, aunque relacionadas, no se encuentran al mismo nivel, pero el

hecho de establecer relaciones entre ellas hace que su comprensión sea más fácil. En este mismo trabajo proponen una serie de pautas que los profesores deberían seguir para que el proceso de enseñanza-aprendizaje de este concepto fuese exitoso. Entre ellos destaco algunas de las que me parecen más importantes: desarrollar actividades que ayuden a los alumnos a cambiar sus posiciones estáticas a otras más dinámicas; que estas actividades se desarrollen en todos los niveles y aumenten su complejidad para que los estudiantes vayan entendiendo cuáles son los tiempos involucrados en el desarrollo de los diferentes procesos geológicos; realizar representaciones espaciales de largos periodo de tiempo para que los alumnos construyan un modelo mental de las magnitudes del tiempo geológico; y proponer actividades en las cuales los alumnos deban relacionar facies, sucesión y cronología.

Para finalizar con los problemas con los que se encuentran los alumnos de secundaria y bachiller a la hora de entender y asimilar el concepto de tiempo geológico, me gustaría señalar que es un problema que no solo les afecta a ellos, sino que es una constante incluso en científicos que no tienen una formación específica en Geología: compañeros del máster con carreras muy brillantes han tenido dificultades similares a la de los alumnos de secundaria a la hora de afrontar este tema.

IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE LOS FÓSILES

Con respecto a las ideas alternativas que los estudiantes tienen acerca de los fósiles, Lillo (1994) realizó unas actividades en alumnos de edades comprendidas entre los 10 y los 15 años con el objetivo de identificar sus ideas alternativas sobre diferentes temas del currículo de Geología. Una de las preguntas era explicar mediante un dibujo la formación de un fósil. Del análisis de los dibujos extrajo las siguientes conclusiones: (1) los alumnos confunden los fósiles con los restos orgánicos, cualquier concha o resto esquelético es un fósil sin importar su edad (no son conscientes del tiempo que necesita el proceso de fosilización); y (2) las impresiones de peces u hojas en las rocas (moldes externos) se producen porque han muerto o han caído en ese lugar y han dejado su huella. El mismo autor, Lillo (1995), realizó un estudio sobre el conocimiento de los fósiles, pero incluyendo esta vez a un grupo de estudiantes de Magisterio y los resultados fueron muy parecidos a los del estudio anterior: los estudiantes se mueven en un marco conceptual que oscila entre los que afirman que un fósil es un resto duro o un hueso, los que creen que son esqueletos sin enterrar y los que creen que son esqueletos enterrados que con el tiempo se vuelve duros, Pero ningún estudiante menciona los cambios químicos que se deben producir para que un organismo fosilice.

Barrabín (1996) realiza un estudio sobre las ideas alternativas que predominan en estudiantes de secundaria y bachiller sobre la acción de los agentes externos (lluvia, viento y nieve) y la tectónica de placas en las montañas, y en algunas de ellas aparece el concepto de fósil. Un número importante de alumnos conocen que la formación de las montañas es debida a los procesos tectónicos pasados, pero muchos de ellos afirman que los fósiles se formaron porque al elevarse el terreno se retiró el agua y los animales murieron. Esta creencia pone de manifiesto nuevamente las dificultades que tienen los alumnos para comprender el concepto de tiempo geológico, pues con esta afirmación, indirectamente están diciendo que entienden la formación de las montañas como un proceso inmediato.

Termino este apartado citando a Castilla y de la Iglesia (2008). Estos autores realizaron un estudio sobre los conocimientos paleontológicos de un grupo de

estudiantes universitarios que formaban parte de unas excavaciones en un yacimiento del Mioceno de Somosaguas (Madrid). Para llevar a cabo el estudio los alumnos debían marcar con una equis las opciones verdaderas de una serie de preguntas tipo test y ordenar cronológicamente unas viñetas, en las cuales se representaban diferentes momentos de la historia de la vida en la Tierra. El resultado obtenido fue muy sorprendente para los autores del estudio, porque un número importante de estos estudiantes, a pesar de participar en excavaciones paleontológicas, arrastraban los mismos errores conceptuales que los estudiantes de secundaria y bachiller (por ejemplo, solo el 11% de ellos incluían a las señales de actividad de los organismos, las pistas fósiles, dentro del concepto de fósil).

IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE LA TECTÓNICA DE PLACAS

El apartado de ideas alternativas lo voy a terminar con las que tienen los alumnos sobre la tectónica de placas, pero centrado únicamente en aquellas relacionadas con la deriva continental (de la que solo he encontrado una cita) y la formación de las montañas, o elevaciones del terreno.

Señala Pedrinaci (1998) que a los alumnos les cuesta aceptar el movimiento de las placas litosféricas, pero que cuando lo hacen un número importante de ellos interpreta que los continentes se desplazan sobre los fondos oceánicos, permaneciendo éstos inmóviles, algo así como un rompehielos (el continente) al avanzar por un mar helado (el fondo oceánico). Esta idea es muy similar a la que en los años 20 del siglo pasado tenía Alfred Wegener sobre la deriva continental.

La bibliografía respecto a la formación de las montañas es algo más extensa. Granda (1988) realizó un estudio sobre los esquemas conceptuales de los alumnos de Geología en diferentes temas. Uno de ellos estaba relacionado con la presencia de los fósiles en las montañas y el resultado que obtuvo fue que alrededor del 50% de los alumnos de Geología pensaban que las montañas se elevan en la Tierra desde siempre y era el nivel del mar el que al subir y cubrir las montañas hacía posible la presencia de fósiles en ellas. Pedrinaci (2001) en un informe sobre las dificultades que muestran los alumnos en el aprendizaje de la dinámica terrestre, dedica un amplio espacio a las ideas que tienen los alumnos sobre la formación de las montañas y las subidas y bajadas del nivel del mar. Respecto a esta última cuestión, afirma que muchos de los estudiantes entrevistados por él no muestran ningún inconveniente en bajar o subir el nivel del mar hasta 7000 metros, por lo que no tienen problemas en afirmar (como en el estudio de Granda, 1988) que las montañas están ahí desde siempre y aparecen y desaparecen en función de la altura que alcance el nivel del mar. Otros, por el contrario, piensan que se han formado en un periodo de tiempo muy corto, debido a un evento catastrófico; y, finalmente, un grupo de alumnos nada desdeñable tienen la idea de que una montaña se forma cuando se erosiona otra que tiene cerca, pues el material que pierde una la gana la otra. Este último grupo de alumnos tienen la idea de que los sedimentos erosionados son depositados en los continentes y no llegan al mar.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

La propuesta didáctica que presento en este Trabajo Fin de Máster va dirigida a alumnos de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria que cursen la asignatura de Biología y Geología, y tiene un carácter geológico. Vuelvo a recordar que esta propuesta didáctica de *investigación dirigida* no la puse en marcha en mi centro de

Practicum, pues su desarrollo, como ya he comentado con anterioridad, implica varios meses de clase y haberla incluido en la programación didáctica de la asignatura para el año escolar.

El hecho de proponerla para 4º de la E.S.O. se debe a varios motivos. En primer lugar, porque todos los conceptos necesarios para que los alumnos puedan desarrollar el trabajo de *investigación dirigida* están contenidos en la programación curricular del curso (tiempo geológico, tectónica de placas, ciclo de las rocas y estudio de los principales grupos fósiles de Aragón). Las rocas sedimentarias, que son muy importantes para este trabajo, se trataron en 3º de la E.S.O. y se recordarán cuando se vea el ciclo de las rocas. En segundo lugar, porque la Orden de 9 de mayo de 2007³, del Departamento de Educación, Cultura y Deporte de la Comunidad Autónoma de Aragón, por el que se aprueba el currículo para la Educación Secundaria Obligatoria, incorpora, si el profesor lo considera oportuno, una unidad didáctica que se desarrollará como *un proyecto de investigación*. Y tercero, porque en 4º curso de la E.S.O. la asignatura de Biología y Geología es de libre elección y, por tanto, habrá menos alumnos, lo que repercutirá muy favorablemente en la calidad de la enseñanza y en el desarrollo de las actividades.

En otro ámbito, la Orden de 9 de mayo de 2007, incluye en su Anexo I las competencias básicas (competencias claves en la LOMCE) que el alumnado debe haber alcanzado al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria. La incorporación de las competencias básicas al currículo tiene como objetivo fijar los aprendizajes que los alumnos tienen que haber alcanzado al finalizar su educación obligatoria en las diferentes áreas de conocimiento. Estas competencias básicas tienen un carácter integrador, pues con ellas se pretende que los alumnos apliquen de forma conjunta los saberes que han adquiridos en las diferentes materias a la resolución de problemas reales. Las Ciencias de la Naturaleza (Biología y Geología), aunque contribuyen fundamentalmente a la adquisición de la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico (CMF), contribuyen, además, a la adquisición de todas las otras: Competencias matemáticas (CM); Tratamiento de la información y competencia digital (TICD); Competencia social y ciudadana (CSC); Competencias en comunicación lingüística (CCL); Competencia para aprender a aprender (CAA); Autonomía e iniciativa personal (CAIP); y Competencia cultural y artística (CCA). Al realizar esta actividad de investigación dirigida los alumnos deberán trabajar, en uno u otro momento y en mayor o menor medida, todas estas competencias.

El objetivo a alcanzar con esta propuesta es que los alumnos aprendan a integrar sus conocimientos teóricos sobre diversos campos conceptuales relacionados con la Geología (viéndose obligados a recurrir a los conocimientos de otras áreas de conocimiento) en un trabajo de investigación dirigida que consistirá en indagar y reconstruir la historia geológica de un lugar determinado (Santa cruz de Nogueras, en la Cordillera Ibérica turolense) para un periodo de tiempo concreto (Pragiense superior-Emsiense inferior, Devónico Inferior) y señalar las diferencias más notables con la actualidad (Figura 4). La reconstrucción geológica que deben llevar a cabo los alumnos se ha diseñado teniendo en cuenta sus conocimientos y, por tanto, los contenidos curriculares del curso. Se trata de que encuentren una explicación razonable a los

³ Esta Orden está encuadrada en la Ley Orgánica de Educación (LOE), que es por la que se han regido las programaciones didácticas de 4º de la E.S.O. en el año escolar 2015-2016. La poca aceptación de la nueva ley educativa (LOMCE) hace pensar que dicha ley no se llegará a aplicar con todas sus consecuencias, pero, aun así, es probable que si esta propuesta se lleva a cabo en un futuro tenga que sufrir pequeñas modificaciones.

cambios litológicos que observen en el campo, tanto dentro de una formación como entre las dos formaciones, apoyándose para ellos en las estructuras sedimentarias y en el contenido fósil que observen; que aprendan a relacionar la textura de las rocas detríticas con los procesos de transporte y sedimentación que acontecieron a un material que, finalmente tras la diagénesis, dio lugar a las rocas que estudian; que expliquen cómo es posible encontrar unas rocas formadas en una plataforma continental en el hemisferio sur hace unos 410 millones de años en la latitud y la altitud actuales; y, finalmente, que infieran, de forma muy sencilla y general, los mecanismos por los cuales esas rocas han llegado hasta la superficie, lo que ha permitido que las estudiemos. Para desarrollar este trabajo los alumnos contarán con un material (Anexo I) que se ha diseñado exclusivamente para esta actividad y que irá detallándose en los siguientes apartados de esta propuesta.

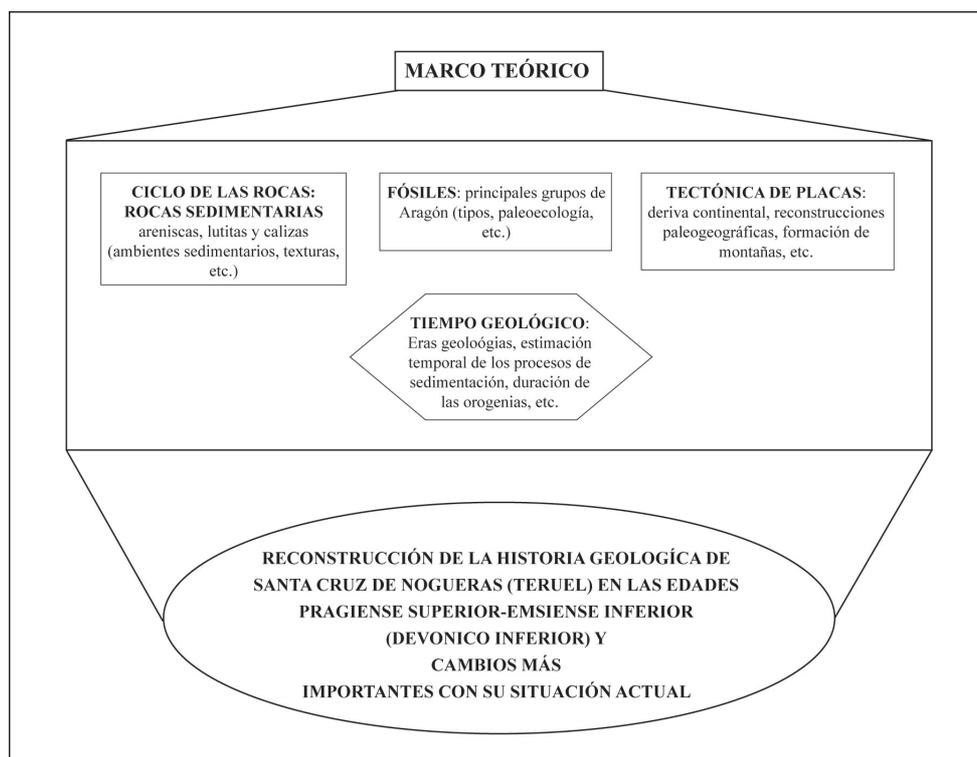


Figura 4 – Representación gráfica del marco conceptual y su aplicación en la propuesta de investigación dirigida.

Como ya he mencionado en el apartado de “Fundamentación teórica de la investigación dirigida”, poner en práctica esta metodología tienen sus complicaciones (Campanario y Moya, 1999) pues supone una nueva forma de aprendizaje para los alumnos, una mayor implicación del profesor en dicho proceso y, además, el abandono de algunos conceptos teóricos que pueden ser considerados por otros colegas como importantes. Pero también supone un esfuerzo extra del docente (García, 1995), porque el proceso de enseñanza debe estar muy bien planificado (recursos didácticos, tipos de prácticas, temporización, secuenciación, evaluación, etc.); no conviene dejar nada al alzar. En la Figura 5 se representa esquemáticamente la forma en la que abordaré el proceso de enseñanza en esta propuesta de investigación dirigida.

SECUENCIA DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Para que los alumnos puedan desarrollar su trabajo de investigación, tanto en el campo como en el laboratorio, primero deben conocer los aspectos teóricos más

importantes sobre la tectónica de placas, especialmente la deriva continental y la formación de montañas, sobre las rocas sedimentarias (haciendo hincapié en las areniscas, las lutitas y las calizas), sobre los fósiles y su modo de vida, reconociendo los principales grupos que están representados en Aragón, así como el espacio temporal en el que nos movemos cuando hablamos de estas cuestiones y, finalmente, aprender a organizar por escrito sus resultados. En base a estos requerimientos he secuenciado la propuesta en cuatro fases: la primera fase transcurrirá en el aula, y en ella se impartirán los conceptos teóricos necesarios para que los alumnos desarrollen su trabajo de investigación, que llevarán a cabo en las fases sucesivas; en la segunda y tercera fases, que consistirán en una salida de campo y en el estudio de las rocas al microscopio, los alumnos realizarán las indagaciones pertinentes y recopilarán los datos necesarios para redactar el informe con los resultados de su investigación; la presentación oral de los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio y la redacción del informe constituirán la cuarta fase y serán considerados como la unidad didáctica dedicada al Proyecto de Investigación contemplada en la LOE. En la Figura 6 se observa de forma esquemática la secuenciación del proceso de enseñanza-aprendizaje de esta propuesta, su temporización y las competencias básicas que se trabajarán con más intensidad en cada fase.

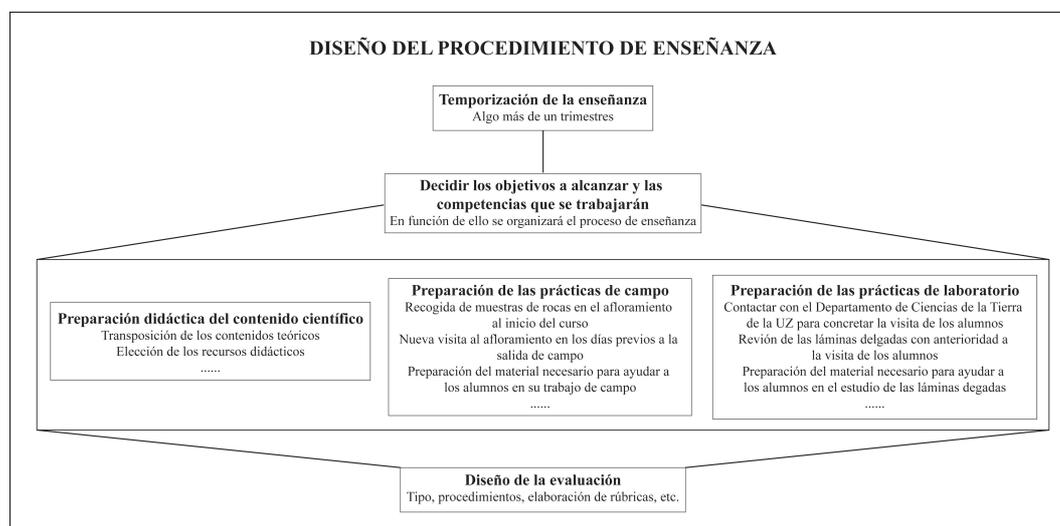


Figura 5 – Diseño y secuenciación del proceso de enseñanza de la propuesta didáctica de investigación dirigida.

Al finalizar la cuarta fase desearía que los estudiantes comprendieran que, aunque las rocas y los fósiles son sustancias inanimadas, tienen dentro de sí una gran fuente de información si sabes cómo preguntar. Y precisamente se trata de eso, de que durante el tiempo que dure esta investigación dirigida ellos aprendan a sacar la información que esconden las rocas y los fósiles, que la integren a sus conocimientos de tectónica, que recompongan el puzzle geológico y que aprendan a desarrollar y presentar un trabajo científico. A continuación describiré con más detalle las cuatro fases de la propuesta.

Primera fase

A principio del curso informaremos a los alumnos sobre cómo se va a desarrollar la docencia de la asignatura de Biología y Geología y se les explicará en qué consistirá el trabajo geológico de investigación que deberán presentar al final del trimestre. Somos conscientes de que gran parte del currículo se tratarán exclusivamente de forma teórica, pero con esta propuesta didáctica intentaremos que una parte importante de los contenidos incluidos en las dos unidades didácticas pertenecientes al bloque de

Geología, estén enfocados directamente al trabajo que los alumnos desarrollarán en la unidad didáctica del proyecto de investigación. Por lo tanto, al tratar la tectónica de placas, el ciclo de las rocas (rocas sedimentarias), los fósiles, las eras geológicas y el tiempo geológico⁴ nos centraremos en los conceptos que creamos más importantes para que los alumnos desarrollen sus trabajos de investigación con la menor dificultad posible.

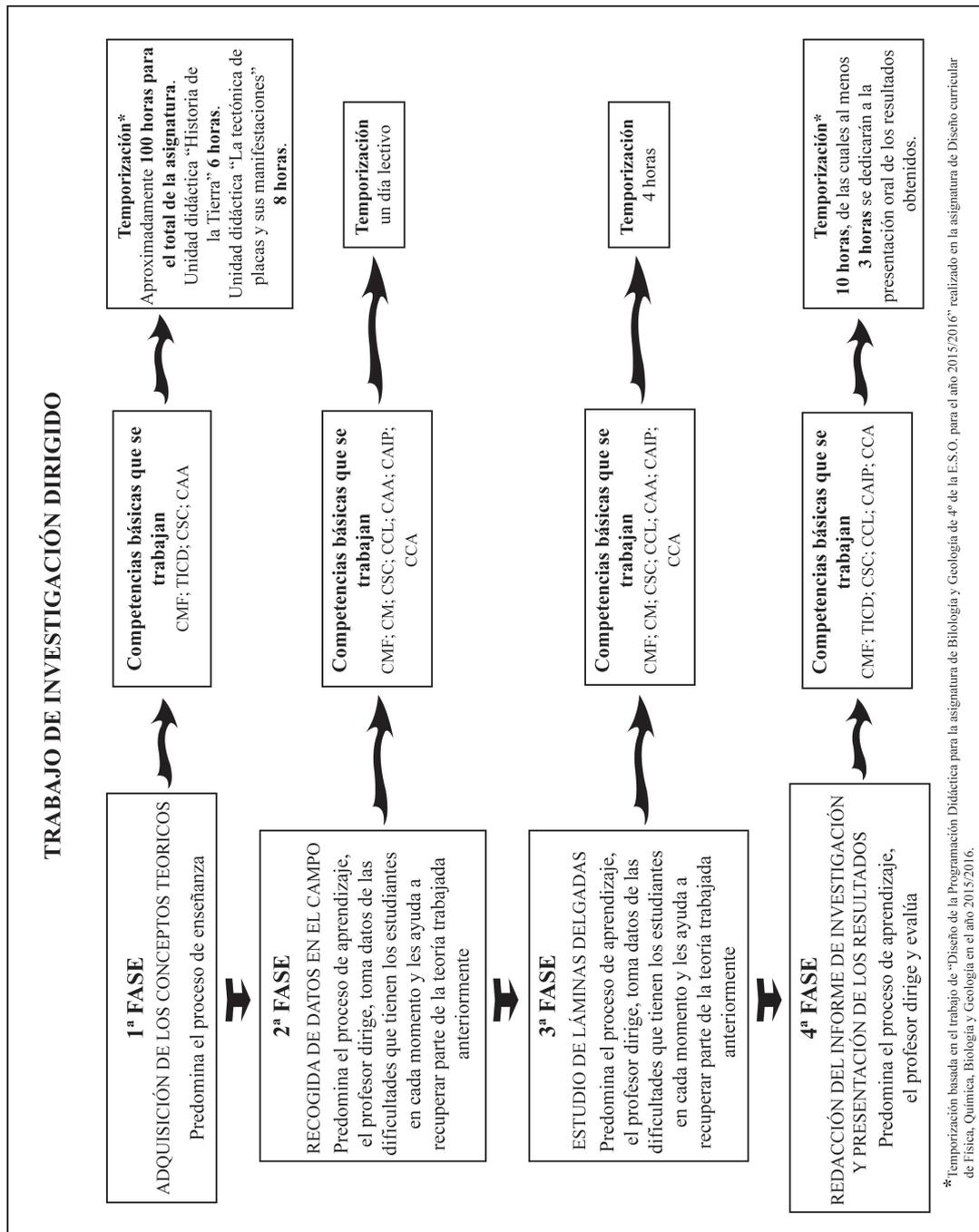


Figura 6 – Secuenciación, temporización y competencias básicas trabajadas en proceso de enseñanza-aprendizaje de la propuesta didáctica de investigación dirigida.

Como ya he señalado previamente, muchos investigadores coinciden en la

⁴ En el programa curricular de 4º de la E.S.O. la totalidad de estos conceptos están incluidos en las unidades didácticas de: Historia de la Tierra y La tectónica de placas y sus manifestaciones.

importancia que tiene, o debería tener, para los profesores conocer las ideas alternativas con las que llegan sus alumnos a clase, pues conocerlas es básico para desarrollar las estrategias pedagógicas-didácticas a seguir al impartir los diferentes contenidos curriculares (Pedrinaci, 1996; Sequeiros *et al.* 1996; Gallegos, 1998; y Ramos *et al.* 2001). Por lo tanto, este será el punto de partida para comenzar cualquier contenido conceptual. En esta propuesta, en concreto, es importante conocer cuáles son las ideas previas de los alumnos sobre la deriva continental, la formación de las montañas, las rocas, los minerales, los fósiles y el tiempo geológico, de las que ya he hablado extensamente en el apartado de Ideas alternativas en los alumnos.

Intentaré dejar reducida al mínimo la parte teórica de las unidades didácticas necesarias para el desarrollo del trabajo de investigación, pero no la suprimiré por completo pues coincido con Diez y Jiménez (2008) cuando afirman que para emprender actividades de investigación los alumnos deben tener algunos conocimientos teóricos sobre el tema a desarrollar. Una vez impartidos los conocimientos teóricos básicos haremos actividades que ayuden a los alumnos a desarrollar su investigación. Por ejemplo, al tratar el origen de las rocas, donde recordaremos las rocas sedimentarias, haremos prácticas con muestras de mano para que aprendan a reconocer los tres tipos de rocas sedimentarias que verán en la fase de campo. Para ello se ayudarán de las claves de identificación diseñadas por los profesores (Anexo II); les proyectaré vídeos que muestren cómo se producen los procesos de meteorización, transporte y sedimentación, cómo se forman las rocas y cuál es la relación de las rocas sedimentarias con los fósiles (González, 2013; Bio-Geo, 2013⁵); les insistiré en que los acontecimientos geológicos sucesivos en el tiempo quedan registrados en una secuencia de materiales ordenados verticalmente, de modo que lo más antiguo ocupa las posiciones más bajas en esa secuencia (les enseñaré, por tanto, a interpretar columnas estratigráficas); les mostraré fotografías de láminas delgadas de rocas sedimentarias para que se familiaricen con sus minerales constituyentes y con sus texturas, etc. Al hablar de la tectónica de placas haré especial hincapié en la deriva continental, mostrándoles reconstrucciones paleogeográficas de distintos periodos, les hablaré de la formación de las montañas, con la ayuda de vídeos (González, 2014), y les insistiré en la relación directa que existe entre la formación de las montañas y los procesos de erosión, transporte y sedimentación, ya que en una superficie completamente horizontal estos procesos difícilmente tendrían lugar. Seguiré la misma metodología con el resto de contenidos teóricos necesarios (Tabla 1). En definitiva, ayudaré a los alumnos a que construyan sus propios modelos mentales sobre los conceptos teóricos tratados en el aula, pues ello les ayudará a interpretar las observaciones de campo y de laboratorio de las siguientes fases del trabajo de investigación.

Para comprobar si los alumnos asimilan los conceptos teóricos que se trabajan en los recursos didácticos empleados, deberán contestar a un pequeño cuestionario que será evaluado de forma conjunta por el profesor y por sus compañeros. Esta evaluación pretende identificar las cuestiones más complicadas para los alumnos y corregirlas (Sanmartí, 2007; Perrenoud, 1993).

Segunda fase

Una vez impartidos los conceptos teóricos, llega el momento de ponerlos en práctica, comenzando, en la segunda fase, con una salida de campo. El trabajo de campo

⁵ En el apartado de Bibliografía se da la cita completa del material que utilizaré como recurso didáctico.

se desarrollará en los alrededores del pueblo turolense de Santa Cruz de Nogueras, concretamente en el corte geológico del *Pozo de la Caldereta* (Herrera y Villas, 2013), situado al sur del pueblo a una distancia aproximada de 300 m de las últimas casas. En este corte geológico aflora la parte superior de la Formación Santa Cruz (de edad Pragiense superior), que está compuesta, como ya adelanté en el apartado de Marco Geológico, por una alternancia de areniscas, con estratos de potencia comprendida entre 20 y 30 cm, y lutitas pizarrosas, con estratos no superiores a los 20 cm de potencia. En el techo de las areniscas es fácil ver ripples y pistas fósiles. Siguiendo el curso del río Cámaras, aguas arriba, subimos en la columna estratigráfica y vemos el contacto entre las formaciones Santa Cruz y Mariposas (muy cerca del límite entre el Pragiense y el Emsiense). Ésta última formación (de edad Pragiense superior-Emsiense inferior) está compuesta por paquetes de calizas fosilíferas separados por estratos centimétricos de lutitas pizarrosas en su parte inferior y por potentes bancos de lutitas pizarrosas de color oscuro con alto contenido en fósiles en la parte superior.

Tabla 1 – Ejemplos de recursos didácticos que emplearé en la primera fase de la propuesta didáctica de investigación dirigida.

CONTENIDOS CURRICULARES	RECURSOS DIDÁCTICOS
El ciclo de las rocas (actividades relacionadas con las rocas sedimentarias)	<ul style="list-style-type: none"> -Vídeos: El proceso de sedimentación, González, 2013 (https://www.youtube.com/watch?v=hOq5cEjq4Z4); La formación de rocas sedimentarias, Bio-Geo, 2013 (https://www.youtube.com/watch?v=iwrFNG7v17g). -Estudio de rocas sedimentarias (areniscas, lutitas y calizas) en visu. -Interpretación de columnas estratigráficas. -Interpretación de bloques diagramas con reconstrucciones de ambientes sedimentarios. - Video: Transgression & regressio, Baldwin, 2013(https://www.youtube.com/watch?v=AslbszrbE2g). En ingles, pero muy visual. -Estudio de fotografías de láminas delgadas. -Aprender a medir el buzamiento de los planos de estratificación y a calcular potencias utilizando la trigonometría. -Etc.
Principales grupos fósiles de Aragón	<ul style="list-style-type: none"> -Manipulación directa de los principales grupos fósiles de Aragón y clasificarlos en grandes grupos. -Visita al Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza (visita programada por el centro). -Vídeo: los fósiles, las huellas del pasado-aventura científica, Álvarez, 2011 (https://www.youtube.com/watch?v=kK_OwJy8nJI). -Estudio de reconstrucciones de los mares del Devónico
La tectónica de placas (actividades relacionadas con la deriva continental y la formación de las montañas)	<ul style="list-style-type: none"> -Vídeos: Deriva continental y bordes entre placas, Tesla, 2013 (https://www.youtube.com/watch?v=UrYTcF387Dc); La formación de las montañas Rocosas de América, 1ª parte, González, 2014 (https://www.youtube.com/watch?v=rGG_M7T0FmE). -Construcción de modelos analógico sobre la formación de montañas.
El tiempo geológico	<ul style="list-style-type: none"> -Lectura y puesta en práctica de las actividades del artículo: Didáctica del tiempo en Geología: Apuntes en internet (Alegret, Meléndez y Trallero (2001).

En el campo los alumnos deberán poner en práctica los conocimientos teóricos tratados en el aula durante la primera fase. Deberán localizarse geográficamente y

situarse geológicamente; medir la dirección y el buzamiento de los estratos para hallar su potencia; reconocer los tipos de rocas que encuentren, tomar muestras, siglarlas y situarlas en la columna estratigráfica que les proporcionaremos, pues los grupos tomarán sus muestras a alturas diferentes de la sucesión estratigráfica; identificar los grupos fósiles (pistas fósiles incluidas) que contengan las rocas (algunos de ellos, si es posible, a nivel de familia) y observar sus posiciones relativas en los estratos; hacer esquemas del afloramiento para que señalen los puntos que les parezcan más interesantes; y tomar fotografías. Todos estos datos los irán apuntando en sus cuadernos de campo para, una vez tengan los datos de laboratorio (fase 3), redacten la memoria del trabajo de investigación. Además, con la observación *in situ* de los estratos, de la alternancia de diferentes litología, de sus estructuras sedimentarias, de sus fósiles, etc. y la interpretación de esas observaciones, los alumnos practicarán su visión espacial, cualidad que les será de gran ayuda a la hora de construir sus modelos mentales, que, como afirman Paschoale (1988) y García de la Torre et al. (1993), son dos de los objetivos principales de las prácticas de campo en estudiantes de secundaria.

Para todas estas actividades los alumnos contarán con la ayuda de los profesores, que seremos sus guías y estaremos con ellos en las dificultades que les vayan surgiendo en cada momento, y de un material didáctico que pueden utilizar en su trabajo de campo: *Cuadernillo de campo para los alumnos*, que contendrá las columnas estratigráficas general y de detalle, la reconstrucción paleogeográfica del periodo geológico estudiado, esquemas con los principales grupos fósiles que hallarán en el campo, etc. (Anexo I); claves para identificar rocas sedimentarias (Anexo II); y una *base de orientación* (Figura 7) diseñada por los profesores los días previos a la salida de campo y con la que ya se habrán familiarizado y que deberá ser utilizada por ellos en conjunción con el resto de material didáctico.

Tercera fase

La tercera fase está dividida en dos etapas y, en función del tipo y el número de microscopios del que disponga el centro educativo en el que se ponga en práctica esta propuesta de investigación, deberá desarrollarse parcial o íntegramente en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. En la primera etapa de esta fase, los alumnos visitarán los talleres donde se preparan las rocas recogidas en el campo para que su estudio al microscopio sea posible (cortado de la roca, pulido, pegado de la roca a una placa de vidrio, control del grosor, etc.). De esta etapa solo deberán presentar un informe descriptivo, en los días posteriores a la visita, en el que detallen el proceso que se les ha explicado. La segunda etapa consistirá en el estudio de tres láminas delgadas (una lutita, una arenisca y una caliza) pertenecientes a las rocas que los alumnos muestrearon en el corte geológico del Pozo de la Caldereta (formaciones Santa Cruz y Mariposas) que, recordemos, provenían de diferentes puntos de la columna estratigráfica⁶. En esta fase los alumnos deben identificar los principales minerales que forman las rocas, diferenciar los componentes inorgánicos de los fósiles y estudiar la textura de las rocas para, a partir de ella, inferir las condiciones de transporte y depósito de dichos componentes. El objetivo de que los alumnos observen láminas delgadas del mismo tipo de rocas, pero de diferentes estratos dentro de la misma columna estratigráfica, es que analicen si existen diferencias entre ellas (diferentes tipo

⁶ El tiempo que emplean los talleres de preparaciones de rocas en entregar los pedidos de láminas delgadas es, generalmente, superior a un mes. Por lo tanto, la mejor opción es que los profesores vayamos al corte a muestrear al inicio de curso y que a partir de esas muestras se realicen las láminas delgadas que estudiarán los alumnos en la tercera fase.

de areniscas, de lutitas o de calizas) y, en caso afirmativo, que interpreten esas diferencias en términos de cambios en las condiciones de transporte o del medio de sedimentación.

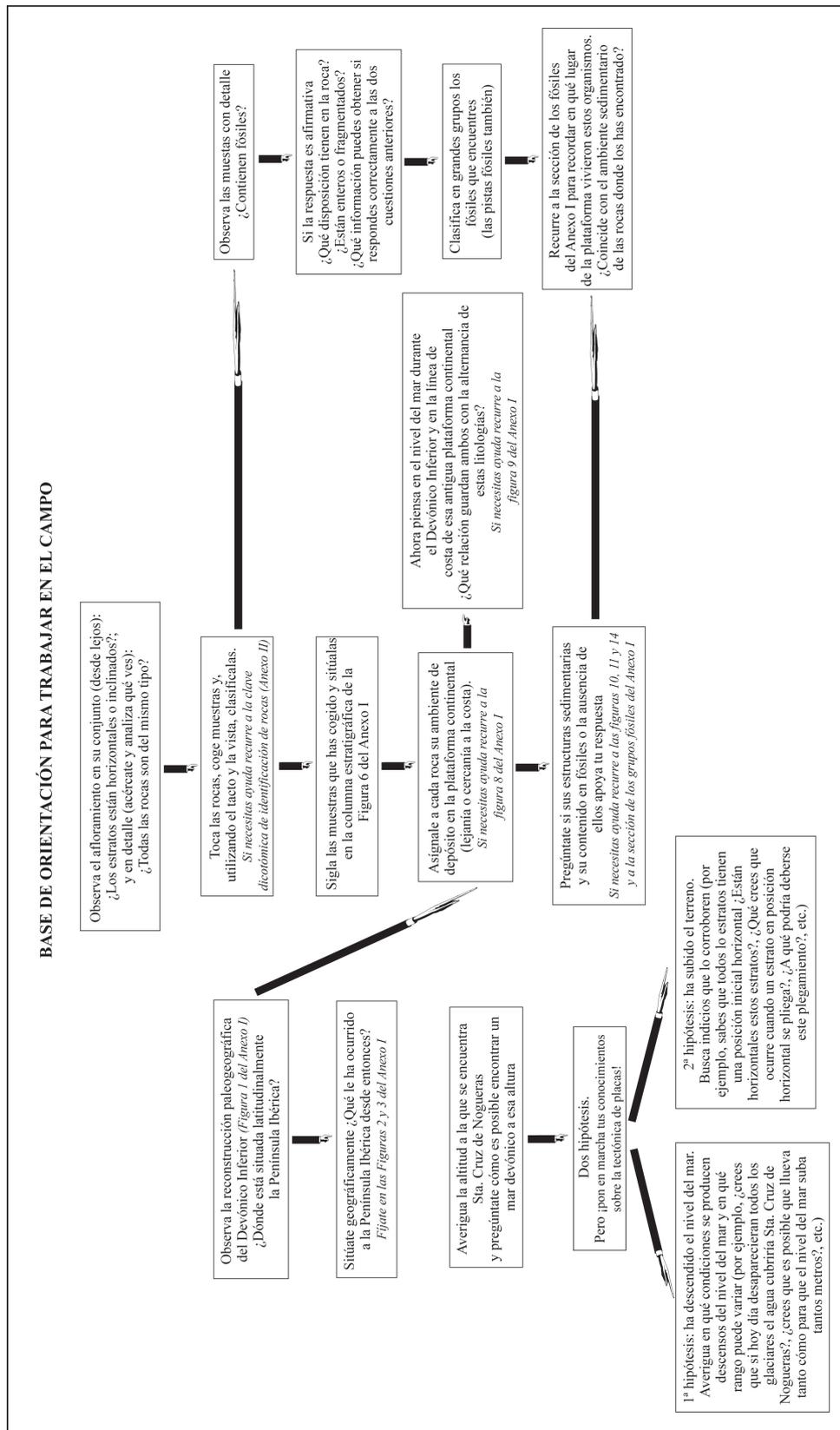


Figura 7 – Base de orientación que se le entregará a los alumnos para ayudarles en su trabajo de campo.

Antes de comenzar a trabajar con los microscopios les daremos a los alumnos las indicaciones más importantes para su manejo (botón de encendido, rosca de enfoque, revolver de objetivos para usar los aumentos más adecuados para el estudio que tienen que realizar, palanca para cruzar nícoles, etc.). Además, los alumnos contarán con guías simplificadas para la identificación de minerales al microscopio, esquemas con los rasgos texturales más importantes (Anexo III) y, al igual que en la fase de campo, con una base de orientación que les guíe durante el trabajo de laboratorio (Figura 8).

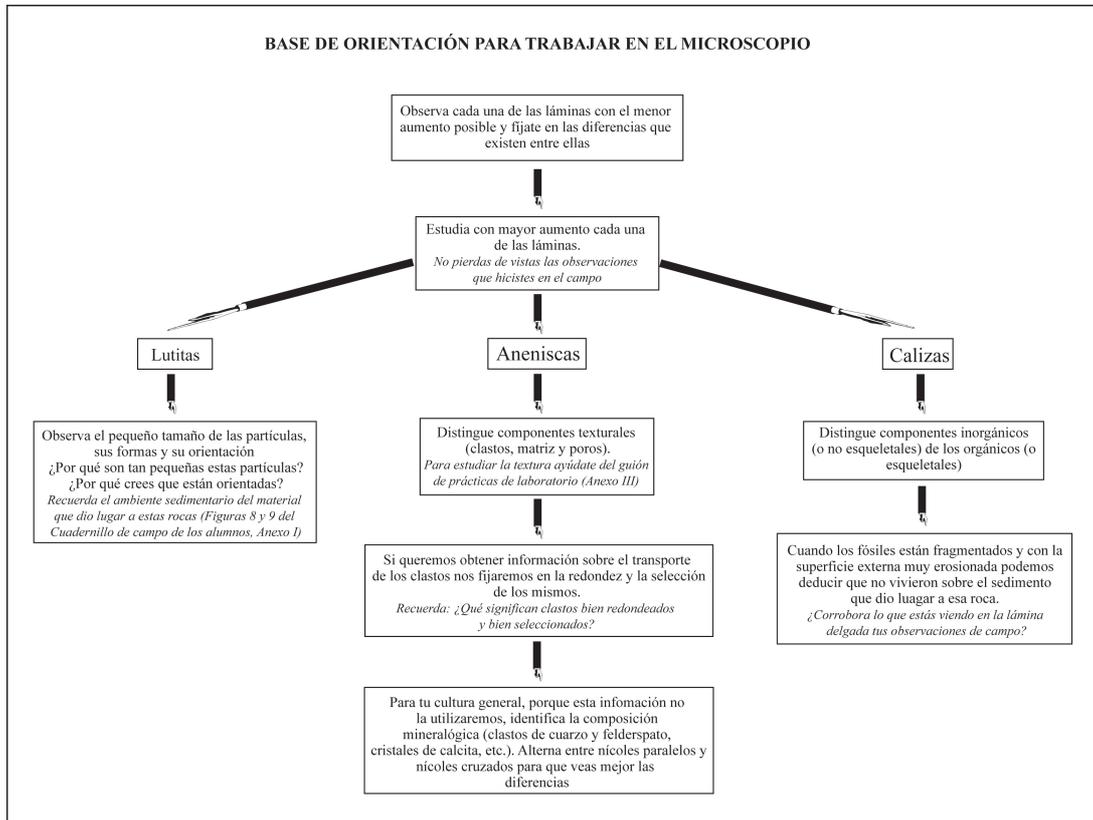


Figura 8 – Base de orientación que se le entregará a los alumnos para ayúdales en el estudio de las láminas delgadas.

Cuarta fase

Esta fase se desarrollará en las horas de docencia destinadas a la unidad didáctica del Proyecto de Investigación. En primer lugar los alumnos organizarán, analizarán y trabajarán con las observaciones e interpretaciones previas hechas en el campo y sobre las realizadas en las láminas delgadas. A continuación, el día establecido por los profesores, expondrán oralmente los resultados obtenidos exclusivamente en la fase de laboratorio (recordemos que las láminas estudiadas por los alumnos provienen de diferentes puntos de la columna estratigráfica y es interesante saber si se producen cambios y en caso afirmativo de qué tipo son dichos cambios). Para la presentación oral las parejas de estudiantes dispondrán de 10 minutos, cinco minutos de exposición de los resultados y otros cinco de preguntas. Intervendrán los dos miembros de la pareja, pero será el profesor quien decida el orden de intervención. Durante las presentaciones las parejas que no expongan deberán ir apuntando los resultados de sus compañeros, ya que una vez terminadas las presentaciones orales analizaremos las diferencias encontradas (si las hubiera) entre las láminas delgadas estudiadas y las interpretaremos en términos de cambios en las condiciones de transporte o del medio de sedimentación. las

presentaciones orales serán entregadas al profesor y al resto de los compañeros para que la evaluación de algunos ítems sea más razonada.

Una vez los datos de campo y de laboratorio analizados y organizados los alumnos deben integrar ambos tipos de datos y comenzar a redactar los resultados de su investigación, o sea, a reconstruir con cierto detalle la historia geológica de Santa Cruz de Nogueras para una edad concreta (Pragiense superior-Emsiense inferior, Devónico Inferior) y a grandes rasgos lo acontecido desde el Devónico Inferior hasta la actualidad. Para ayudarles durante este proceso contarán con una base de orientación que les dirigirá hacia las cuestiones más importantes a tener en cuenta en la reconstrucción de la historia geológica de la zona (Figuras 9a y 9b), y con un documento donde encontrarán las normas para editar el informe, los diferentes apartados que deben aparecer en él y la información fundamental que deben contener dichos apartados (Anexo V).

DESCRIPCIÓN DEL MEDIO DIDÁCTICO

Esta propuesta didáctica se desarrollará en tres ambientes diferentes: las fases primera y cuarta transcurrirán previsiblemente en el aula; la segunda fase en el campo y la tercera fase en los laboratorios del centro escolar y/o en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza, cuyos investigadores están siempre encantados y deseosos de que los visiten alumnos de secundaria para despertar en ellos el gusto por la Geología.

El material didáctico utilizado en el aula ya lo hemos mencionado (fichas con contenidos teóricos, muestras de mano de rocas, fotografías explicativas de los conceptos tratados, audiovisuales, etc. En el campo los alumnos deberán emplear el material que utilizamos los geólogos en estas circunstancias: cuaderno de campo, lápices de colores, mapas topográficos, brújula con clinómetro para medir direcciones y buzamientos, metro de albañil (para medir la potencia de los estratos, empleando sus conocimientos trigonométricos), martillo, lupa de mano, ácido clorhídrico diluido (lo manejarán exclusivamente los profesores), bolsas de plástico para guardar las muestras de rocas y de fósiles, rotuladores indelebles para siglarlas, cámara de fotos, algún objeto fácilmente identificable para que sirva de escala en las fotografías (una moneda, por ejemplo, para fotos de detalle y un martillo o una carpeta para fotos de menor detalle). Además y, muy importante, los alumnos deberán llevar todo el material que les hayamos dado los profesores para que puedan comenzar con sus interpretaciones geológicas. En el laboratorio de microscopía harán uso del material habitual en estos casos: microscopios petrográficos y láminas delgadas, guías de minerales con sus consiguientes claves identificativas, diagramas texturales y cámaras de fotos para fotografiar las láminas delgadas.

En lo referente a la organización de los alumnos, tanto en la salida de campo como en el laboratorio trabajarán por parejas, dándoles libertad para que escojan al compañero o compañera que deseen. El número de alumnos y sus características personales condicionará, además, el número de profesores necesarios para ir al campo, pero más de un profesor parece, en principio, necesario. Las exposiciones orales las harán por parejas, pero, aunque los dos miembros de la pareja puedan, y deban, compartir sus datos y observaciones de campo y de laboratorio, la redacción del informe final será individual.

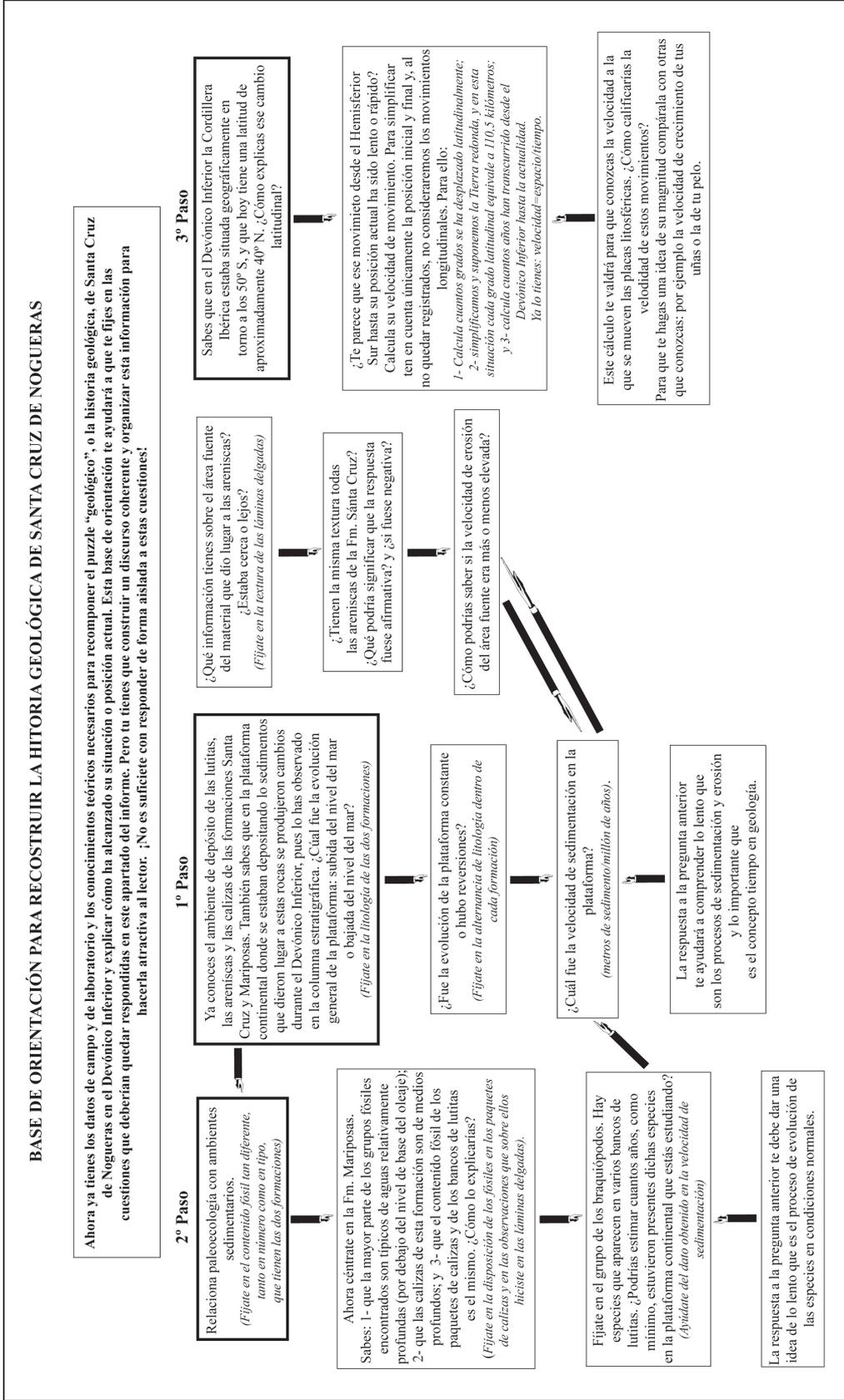


Figura 9a – Base de orientación que se le entregará a los alumnos para ayúdales en la reconstrucción de la historia geológica de Santa Cruz de Nogueras.

BASE DE ORIENTACIÓN PARA RECONSTRUIR LA HISTORIA GEOLÓGICA DE SANTA CRUZ DE NOGUERAS

4º Paso

Ahora debes seguirle la pista a esos sedimentos. Es decir ¿qué les ha ocurrido desde que se depositaron durante el Devónico Inferior hasta ahora que, convertidos en roca, los estás tocando con tus manos?

Estos sedimentos fueron cubiertos por otros sedimentos del Devónico (del Devónico Medio y del Devónico Superior). Haz una estimación de la profundidad mínima a la que se encontraban "nuestros" sedimento al comienzo del Carbonífero.
(Fíjate en la columna estratigráfica de la serie devónica en la Cordillera Ibérica que tienes en tus manos)

En el Carbonífero Inferior comenzó la Orogénia Varisca. Los estratos que formaban "nuestras rocas" estaban en una posición horizontal. ¿Qué les pasó entonces?
(Recuerda el concepto de orogenia y qué le ocurre a los estratos cuando son sometidos a presiones laterales)

En la Cordillera Ibérica la Orogenia Varisca terminó en el Carbonífero Superior (hace aproximadamente 305 m.a.). ¿Crees que "nuestras rocas" llegaron a la superficie? ¿Qué evidencias encuentras para decir que sí y/o cuáles para decir que no?
(Fíjate en qué ocurre cuando los agentes geológicos externos actúan sobre una roca)

Llegados a este punto ya tienes una idea de lo que le ocurrió a "nuestras rocas" durante el Paleozoico. La Era Mesozoica fue muy tranquila para ellas. Pero esta tranquilidad se rompió al comienzo de la Era Terciaria (o Cenozoico).

El primer periodo del Cenozoico (aproximadamente 66 m.a.-34 m.a.) coincide con el momento de mayor actividad de la Orogénia Alpina. Los materiales que forman la actual Cordillera Ibérica se pliegan durante esta orogenia (recuerda que a partir de entonces hay materiales afectados por dos orogenias distintas ¿sabrías decir cuáles?) y quedan desde entonces emergidos. ¿Qué evidencias encontramos de que gran parte de la actual Cordillera Ibérica estuvo bajo el nivel del mar casi toda la era Mesozoica?
(Fíjate en la edad, en el tipo de materiales y en el contenido fósil de la columna estratigráfica general de la Cordillera Ibérica)

¿Qué crees que supuso la emersión para estas rocas?
(Piensa en las consecuencias que tiene para una roca quedar expuesta a los agentes geológicos externos)

El broche final:
¿Sabrías decir hasta que mar podrían llegar las partículas de menor tamaño de las rocas estudiadas?
(Sigue la pista al río Camarás)
¿Qué les ocurrirá a estas partículas al llegar al mar?
¿Te has dado cuenta de que se ha cerrado el ciclo de las rocas?
¿Cuántos millones de años ha tardado en cerrarse el ciclo para nuestras rocas?
(Recuerda su edad)

Ahora recuerda el paisaje en el que se encuadraban "nuestras rocas" ¿Cuál crees que ha sido el agente geológico externo que más ha actuado sobre las rocas que la cubrían y sobre ellas misma y es el responsable de que las podamos estudiar?
(Piensa en el paisaje que has visto -es escarpado, hay ríos, es fuerte el viento, etc.- y en las temperaturas que se pueden alcanzar en la zona en invierno)

Vamos a simplificar mucho y a suponer que "nuestras rocas" han emergido a una velocidad constante (¡tienes que ser consciente de que esta afirmación es falsa!). ¿A qué velocidad se han elevado hasta alcanzar su altitud actual?
(Recuerda: 1- la profundidad a la que se encontraban en el Carbonífero Inferior, que ya la has calculado; 2- la altitud a la que se encuentran ahora; y 3- los millones de años transcurridos desde el Carbonífero inferior hasta la actualidad)

Puedes terminar esta historia geológica pensando en el papel que desempeñan las rocas estudiadas ("nuestras rocas") en el proceso de erosión, transporte y sedimentación hoy día.
(Sabes que durante el Devónico Inferior la zona que hoy ocupa Santa Cruz de Nogueras estaba bajo el nivel del mar y recibía el material que se erosionaba en las zonas elevadas. Ese material se consolidó y dio lugar a las rocas que hoy estás estudiando. Pero en la actualidad estas rocas se elevan muchos metros sobre el nivel del mar y los agentes geológicos externos están actuando sobre ellas.)
¿Qué nombre reciben las zonas donde se depositan los sedimentos? ¿Y las que lo aportan? Por tanto, ¿En qué se ha convertido el área donde están nuestras rocas?

Ten presente siempre la relación directa que hay entre las orogenias y la tectónica de placas y recuerda en qué bordes de placas litosféricas y en qué tipo de corteza se forman las montañas. Por último, se consciente del tiempo necesario para que se produzcan estos hechos. Si sigues estudiando Geología aprenderás que a este ciclo (desde que un supercontinente se rompe hasta que se vuelve a formar) se le llama Ciclo de Wilson.

PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LOS RESULTADOS

Para valorar el proceso de aprendizaje de esta propuesta didáctica utilizaré tres procedimientos e instrumentos de evaluación: (1) observación directa, que me permitirá recoger información sobre la actitud individual de los alumnos, tanto en el aula como en el campo y en el laboratorio (20% de la calificación); (2) presentación/exposición oral de los resultados obtenidos en el estudio de las láminas delgadas (30% de la calificación, del cual el 15% corresponderá a la evaluación realizada por el profesor y el otro 15% a la que le otorguen sus compañeros); y (3) corrección de la memoria con los resultados de la investigación (50% de la calificación).

La calidad de la presentación en ppt (o cualquier otro formato) y la exposición oral⁷ de la misma serán evaluadas mediante una rúbrica (Anexos IV), que será la misma para la evaluación del profesor y la coevaluación que realicen el resto de compañeros. La calificación obtenida en la presentación y en la exposición será la misma para los dos miembros de la pareja. La evaluación de la memoria con los resultados de la investigación dirigida la haré de forma tradicional y será muy importante, además de los resultados científicos obtenidos, la coherencia de los razonamientos, el ensamblaje de los resultados obtenidos, el uso del lenguaje geológico propio del tema que se ha tratado, el uso de material gráfico propio (esquemas de campo, fotografías tomadas por los alumnos, etc.), el equilibrio en la calidad de todos los apartados que la constituya y, por supuesto, tendrá un peso muy importante en la evaluación la calidad de redacción y la corrección gramatical y ortográfica. Finalmente, sería deseable contar con el tiempo suficiente para realizar una precorrección de los informes antes de su entrega definitiva, para que, de esa forma, los alumnos tuvieran la oportunidad de subsanar los errores antes de que el informe definitivo sea evaluado y calificado.

Para evaluar el proceso de enseñanza y el grado de satisfacción de los estudiantes con esta propuesta de investigación dirigida, les pediré que contesten de forma anónima a unas preguntas cuyas respuestas me permitan conocer qué actividades les han gustado más y en cuáles han tenido problemas (Anexo VI).

CONSIDERACIONES FINALES

Al no haber puesto en marcha la propuesta didáctica de investigación dirigida que presento como Trabajo Fin de Máster no puedo presentar ninguna conclusión sobre su resultado. No obstante, antes de dar por terminada la memoria me gustaría hacer algunas consideraciones finales de carácter más general.

Lo primero que quiero señalar es que el Máster en Profesorado de E.S.O., Bachillerato, F.P. y Enseñanzas de Idiomas, Artísticas y Deportivas, para el cual presento este Trabajo Fin de Máster ha hecho que vea la enseñanza no universitaria desde un punto de vista más emocional, donde se deben tener en cuenta otros factores, además de los puramente académicos, a la hora de tratar a los alumnos. Sin embargo, la nueva visión que he ido adquiriendo de la Educación Secundaria durante este curso no

⁷ La evaluación de la presentación y su exposición oral no estará centrada en el contenido científico (aunque también se tendrá en cuenta), sino en aspectos como la calidad de la presentación (orden, gramática, ortografía, material gráfico, etc.), la expresión oral de los alumnos y la forma de responder a las preguntas. El contenido científico será evaluado en el informe final.

ha hecho que abandone por completo la visión inicial que sobre ella tenía, y sigo considerando necesario que entre todos (instituciones, profesores, padres y la sociedad en general) hagamos un esfuerzo por mejorar la calidad de la enseñanza. Y parte de esa mejora pasa, según creemos y defendemos algunos, por no dejar de lado los conocimientos y los contenidos teóricos en detrimento de otras actividades que, si bien pueden resultar más divertidas para los alumnos, sus resultados son cuestionables.

El proceso de aprendizaje supone, en más ocasiones de las deseadas, un esfuerzo por parte del alumno, pero deberíamos enseñarles a no considerar dicho esfuerzo algo negativo, que siempre podría evitarse si el profesor quisiera o estuviese más capacitado. El esfuerzo es algo inherente a la vida de todos y cuanto antes lo entiendan, mejor les irá.

Ahora bien, con este comentario no quiero decir que los alumnos sean los únicos responsables de su fracaso escolar. Muchos profesores, con sus métodos de enseñanza caducos y con su desdén por la materia que enseñan, son responsables directos del fracaso de sus alumnos. Este desdén se refleja, la mayoría de las veces, en clases mal preparadas y aburridas, donde lo único que puede hacer el alumno es escuchar o, como suele ocurrir habitualmente, evadirse (o molestar). Yo desearía tener la capacidad de enganchar a mis alumnos con mi asignatura; que les guste la Geología y la Biología y que, cuando se enfrenten a campos conceptuales complicados, no tiren la toalla a la primera, ni a la segunda, sino que se esfuercen por entenderlos. Y creo que en este punto el profesor es un gran ejemplo porque, generalmente, cuando los alumnos ven que los profesores se esfuerzan en sus clases y se implican en ellas, responden mejor.

Con esta propuesta de investigación dirigida he pretendido que los alumnos aprendan Geología de una forma diferente a la que habitualmente se les enseña en los centros de secundaria, en los cuales las prácticas de campo y de laboratorio son prácticamente inexistentes. Esta ausencia de prácticas se puede ver favorecida por el miedo que produce su preparación en un alto porcentaje de los profesores que imparten esta materia, que son mayoritariamente biólogos o veterinarios. Solo hay que ver el número de geólogos que hemos cursado el máster en su especialidad de Geología y Biología este año: cinco de un total de 25 alumnos.

No voy a repetir aquí ningún detalle de la propuesta porque ya ha sido ampliamente detallada en la memoria. Solo quiero señalar, para terminar, que, a pesar de que haya sido diseñada para 4º curso de la E.S.O., actividades similares a esta se pueden llevar a cabo con cursos de niveles inferiores.

BIBLIOGRAFÍA

- Alegret, L., Meléndez, A. y Trallero V. (2001). Didáctica del tiempo en Geología: apuntes en internet. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9, 261–269.
- Álvarez, A. (2011). Los fósiles, las huellas del pasado-aventura científica (14 de noviembre de 2011). Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=kK_OwJy8nJI
- Álvarez, R.M. y García de la Torre, E. (1999). Estrategia investigativa para enseñar el origen de las rocas detríticas. *Alambique*, 22 (versión electrónica).
- Arellano, M. y Merino, C. (2005). Uso de la base de orientación para trabajo en el

- laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, Número extra, VII Congreso, 1–5.
- Baldwin, P. (2013). Transgression & Regression (6 de febrero de 2013). Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=AslbszrbE2g>
- Barrabín, J.M. (1996). ¿Por qué hay fósiles marinos en las montañas?. *Alambique*, 08 (versión electrónica).
- Bermúdez, D.D. (2012). Las prácticas de laboratorio en la didáctica de las ciencias experimentales, un lugar idóneo para la convivencia de los diferentes estilos de aprendizaje. V Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje, Santander, España.
- Brusi, D. (1992a). Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas de campo en Geología (I): aspectos funcionales. VII Simposio de Enseñanza de la Geología, Santiago de Compostela, España.
- Brusi, D. (1992b). Reflexiones en torno a la didáctica de las salidas de campo en Geología (I): aspectos metodológicos. VII Simposio de Enseñanza de la Geología, Santiago de Compostela, España.
- Brusi, D., Zamorano, M., Casellas, R.M^a. Bach, J. (2011a). Reflexiones sobre el diseño por competencias en el trabajo de campo en Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19, 4–14.
- Brusi, D., Bach, J., Estrada, M.R., Oms, O., Vicens, E., Obrador, A., Maestro, E. Y Biosca, J. (2011b). El GEOCAMP: un sitio web y una herramienta de edición para las actividades de campo en geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19, 57–66.
- Bio-Geo (2013). La formación de rocas sedimentarias (13 de marzo de 2013). YouTube. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=iwrFNG7v17g>
- Calatayud, M.L., Gil, D. y Gimeno, J.V. (1992). Cuestionando el pensamiento docente espontáneo del profesorado universitario: ¿Las deficiencias en la enseñanza como origen de las dificultades de los estudiantes? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 14, 71–81.
- Campanario, J.M. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 179–192.
- Castilla, G. y de la Iglesia, A. (2008). ¿Qué saben de Paleontología los estudiantes universitarios?. *Paleontologica Nova*, 8, 165–173.
- Diez, J. Y Jiménez, M^a.P. (2008). El desarrollo de competencias para usar la noción de célula en Secundaria. En: Recursos didácticos en Ciencias Naturales (Calvo, P. y Fonfría, J, ed.). pp. 169–186.
- Gallego, J.A. (1998). La construcción del concepto de mineral: bases históricas y un diseño de enseñanza-aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 159–167.
- García de la Torre, E. (1991). Recursos en la enseñanza de la Geología. La geología de campo. *Investigación en la Escuela*, 13, 84–93.
- García de la Torre, E., Sequeiros, L. y Pedrinaci, E. (1993). Fundamento para el aprendizaje de la Geología de campo en la Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1, 11–18.
- García, M^a.P. (1995). Las prácticas de laboratorio: planificación y evaluación. En Aspectos didácticos de Ciencias Naturales (Biología) 6. pp. 65–103. Zaragoza:

- Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Zaragoza.
- García, M^a.P. y Sanmartí, N. (1998). Las bases de orientación: un instrumento para enseñar a pensar teóricamente en biología. *Alambique*, 16, 8–20.
- Gil, D. (1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197–212.
- González, C. (2013). El proceso de sedimentación (4 de diciembre de 2013). YouTube. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=hOq5cEjq4Z4>
- González, C. (2014). La formación de las montañas Rocosas de América, 1^a parte (12 de febrero de 2014). YouTube. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=rGG_M7T0FmE
- Granda, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 239–243.
- Herrera, Z. y Villas, E. (2013). *Fósiles paleozoicos en el valle del río Cámaras, Comarca del Jiloca, Teruel*. Sid, Teruel.
- Izquierdo, (1998)
- Jambon, A. y Thomas, A. (2009): *Géochimie. Géodynamique et cycles*. Col. Sciences SUP., Dunod, Paris.
- Linder, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77, 293–300.
- Lillo, J. (1994). Representaciones de los alumnos sobre los conceptos de fósil y fosilización. Actas del Simposio sobre Las didácticas específicas en la formación del profesorado II, vol. I, Santiago, julio de 1992, Círculo Ediciones, Santiago, pp. 489-498.
- Lillo, J. (1995). Ideas de los alumnos y obstáculos epistemológicos en la construcción de los conceptos fósil y fosilización. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3, 149–153.
- López, A.M. y Tamayo O.E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 1, 145–166.
- Márquez, C. y Roca, M. (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista de Educación y Pedagogía*, 45, 61–71.
- Martín, R. y Rivero, A. (2001). Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en la Educación Secundaria: los ámbitos de investigación profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 63–79.
- Morcillo, J.G., García, E., López, M. y Mejías, N.E. (2006). Los laboratorios virtuales en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra: los terremotos. *Enseñanza de las Ciencias e la Tierra*, 14, 150–156.
- Paschoale, C. (1988). Alice no país da Geologia e o que ela encontrou lá. *Revista de Semiótica e Comunicação*, 1, 87–99.
- Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 315–323.

- Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2, 240–251.
- Pedrinaci, E., Sequeiros, L. Y García de la Torre, E. (1994). El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geología. *Alambique*, 2, 37–45.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique*, 7 (versión electrónica).
- Pedrinaci, E. (1998). Procesos geológicos internos: entre el fijismo y la Tierra como sistema. *Alambique*, 18, 7–17.
- Pedrinaci, E. (2001). *Los procesos geológicos internos*. Síntesis, Madrid.
- Perales, F.J.V. (1998). La resolución de problemas en la didáctica de las ciencias experimentales. *Revista Educación y Pedagogía*, 10, 119–143.
- Perrenoud, Ph. (1993). Touche pas à mon évaluation! Pour une approche systémique du changement pédagogique. *Mesure et évaluation en éducation*, 16, 107–132.
- Ramos, R., Praia, J., Marqués, L. y Pereira, L. (2001). Ideas alternativas sobre el ciclo litológico en alumnos portugueses de Enseñanza Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9, 252–260.
- Sanjosé, V. y Torres, T. (2010). Preguntas de los estudiantes sobre dispositivos científicos. II Congrès International de Didactiques, Girona, España.
- Sanmartí, N. (2007). 10 ideas claves. Evaluar para aprender. Grao, Barcelona.
- Scott, J. (1975). *Paleontology: an Introduction*. Kahn & Averill, London.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4, 113–119.
- Tesla, W. (2013). Deriva continental y bordes de placas (7 de febrero de 2013). Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=UrYTcF387Dc>
- Zalasiewicz, J. (2010). *The planet in a pebble. A journey into Earth's Deep History*. Oxford University Press, Oxford.

ANEXOS

ANEXO I

CUADERNILLO DE CAMPO PARA LOS ALUMNO

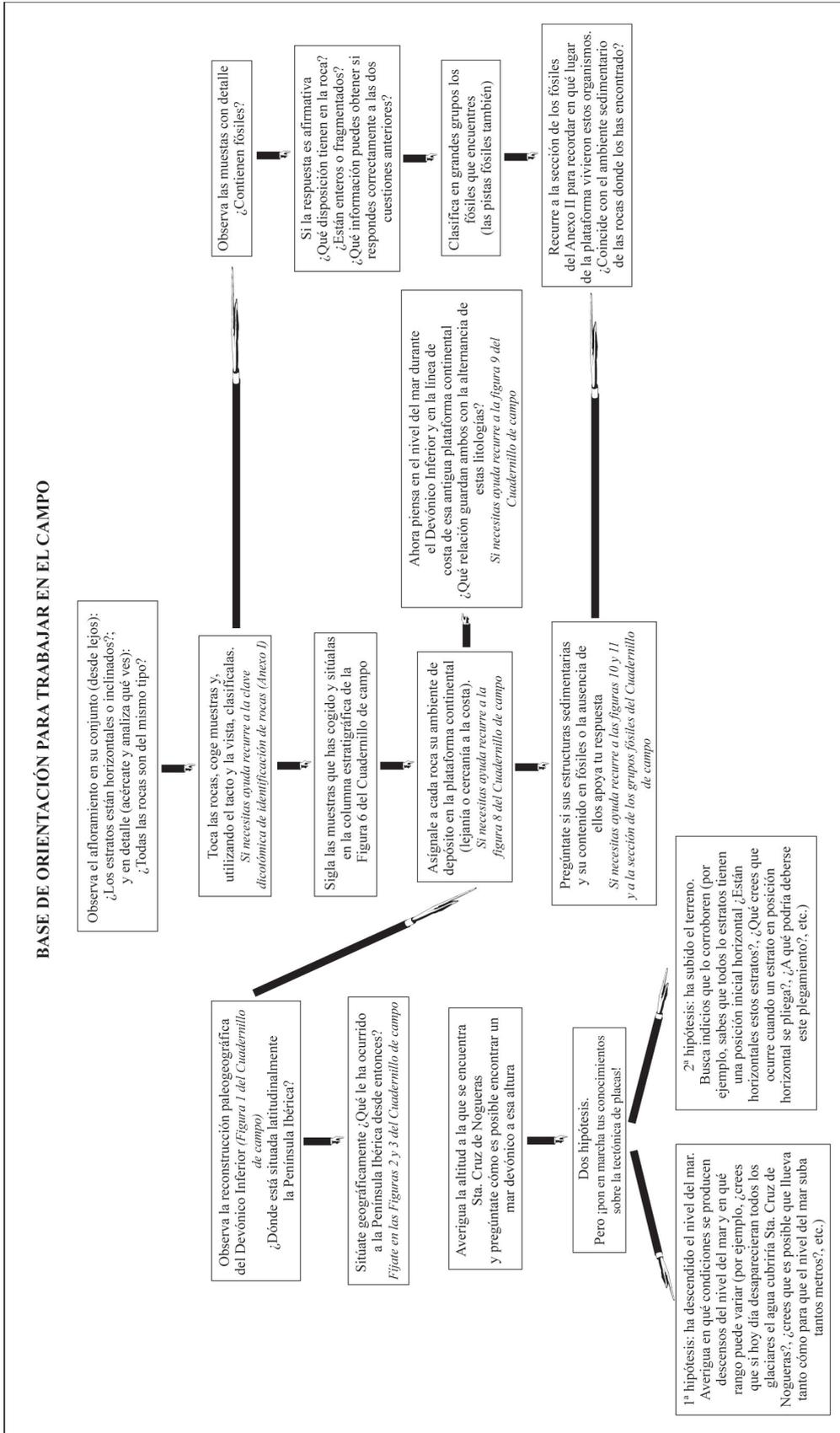
Introducción

Para sacar un mayor rendimiento a tus observaciones en el campo debes trabajar conjuntamente con la base de orientación y la información gráfica de este cuadernillo. Aquí encontrarás información sobre la paleogeografía y la geografía actual de la Cordillera Ibérica, sobre la geología de la zona, la columna estratigráfica general de la región y otra de detalle del afloramiento que visitemos, esquemas que te ayudarán a medir la dirección y el buzamiento de los estratos, esquemas de medios sedimentarios y fotografías del contenido fósil de la Formación Mariposas. Recuerda lo estudiado en teoría: hablamos de *formación geológica* cuando nos referimos a unos materiales, o conjunto de rocas de la MISMA EDAD, que se caracterizan por tener una composición *litológica* muy similar (por ejemplo areniscas de diferentes tamaños de grano con intercalaciones de lutitas o calizas con lutitas intercaladas), lo cual quiere decir que se han depositado en ambiente sedimentarios similares. Recuerda que las formaciones geológicas pueden tener una extensión de miles de kilómetro y que, en ese caso, la misma formación (o conjunto de rocas) recibe diferentes nombre según el lugar en donde aflore.

Esta información, junto con la guía para analizar la textura de la roca y las tutorías con el profesor serán de gran ayuda para que realices tu trabajo de investigación dirigida con éxito. Sabes que el objetivo de esta investigación dirigida es reconstruir la historia geológica de Sta. Cruz de Nogueras, centrándonos exclusivamente en el Devónico⁸ Inferior y su comparación con la situación actual. Esto de la “historia geológica” puede que te resulte extraño porque estás acostumbrado a utilizar la palabra *historia* con temas relacionados con el Hombre, pero el concepto es el mismo solo que aplicado a unas rocas y todo lo que de ellas podemos deducir.

Un consejo: no entres en pánico si cuando llegues al afloramiento te sientes perdido. Ten por seguro que todos los geólogos hemos sentido lo mismo la primera vez que nos hemos enfrentado a un trabajo de este tipo. Confía en que cuando termine el día habrás aprendido muchas cosas nuevas. Tampoco te pongas nervioso si, al surgirte alguna duda, ves que el cuadernillo de campo no basta para solucionarla, pues los profesores estamos para ayudarte y estaremos todo el día con vosotros. Y, por último, disfruta del campo y de este trabajo, no dejes que se convierta en algo estresante para ti.

⁸ Recordad que el Devónico es un periodo del Paleozoico (también conocido como Era Paleozoica o Primaria) y que abarca un rango de edad de la Tierra comprendido entre los 415-355 millones de años (m.a.). Por su parte el Devónico Inferior se extiende desde los 415 m.a. hasta aproximadamente los 400 m.a.



Paleogeografía

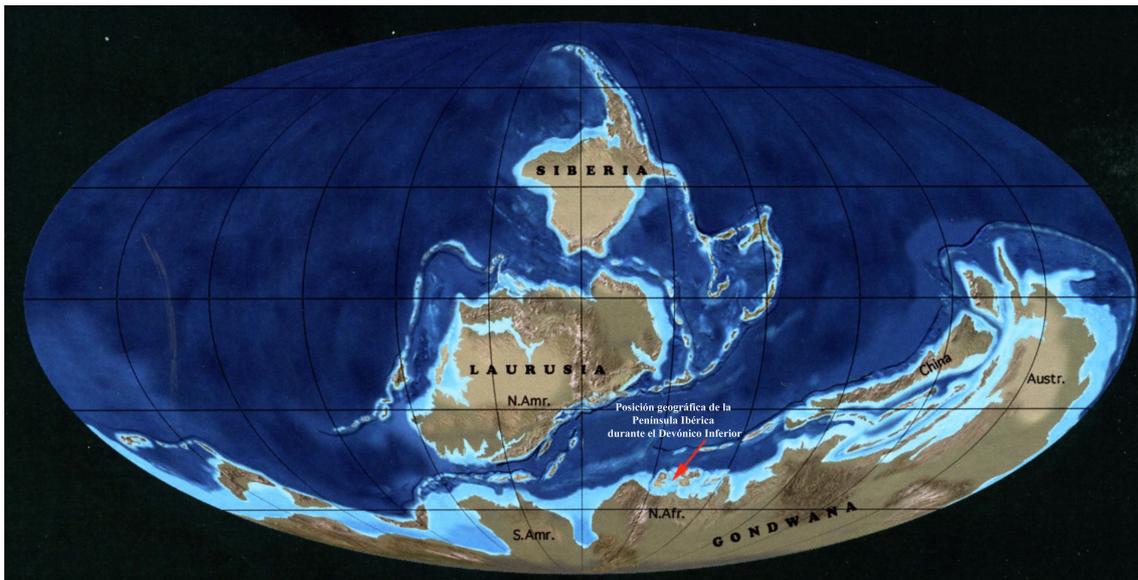


Figura 1 – Distribución de las masas continentales durante el Devónico Inferior y posición de la Península Ibérica (flecha roja). Compárala con la posición geográfica actual de la Península Ibérica.

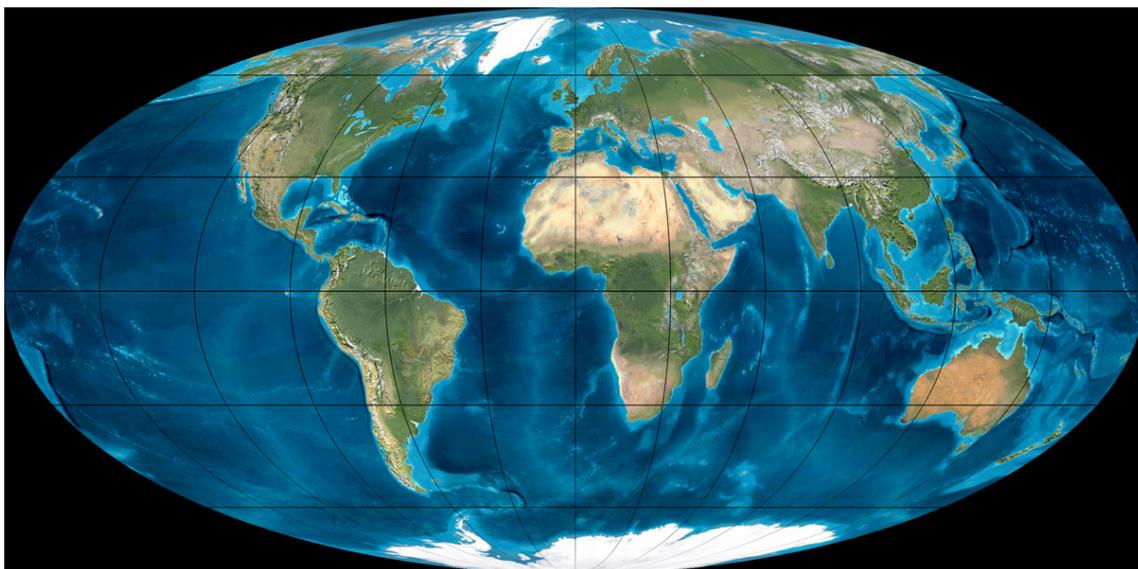


Figura 2 – Distribución de las masas continentales en la actualidad. Comparando este mapa con el anterior es sencillo estimar cuantos grados se ha movido latitudinalmente la Península Ibérica.

Geografía física de la Península Ibérica



Figura 3 – Geografía física de la Península Ibérica en la actualidad. La Cordillera Ibérica atraviesa la península en dirección noroeste-sureste: identifícala. Ya sabes que Sta. Cruz de Nogueras se encuentra al sur de la Cadena Ibérica Oriental. ¿Sabes dónde situar, aproximadamente, dicha localidad en este mapa?

Situación geológica de la zona de estudio

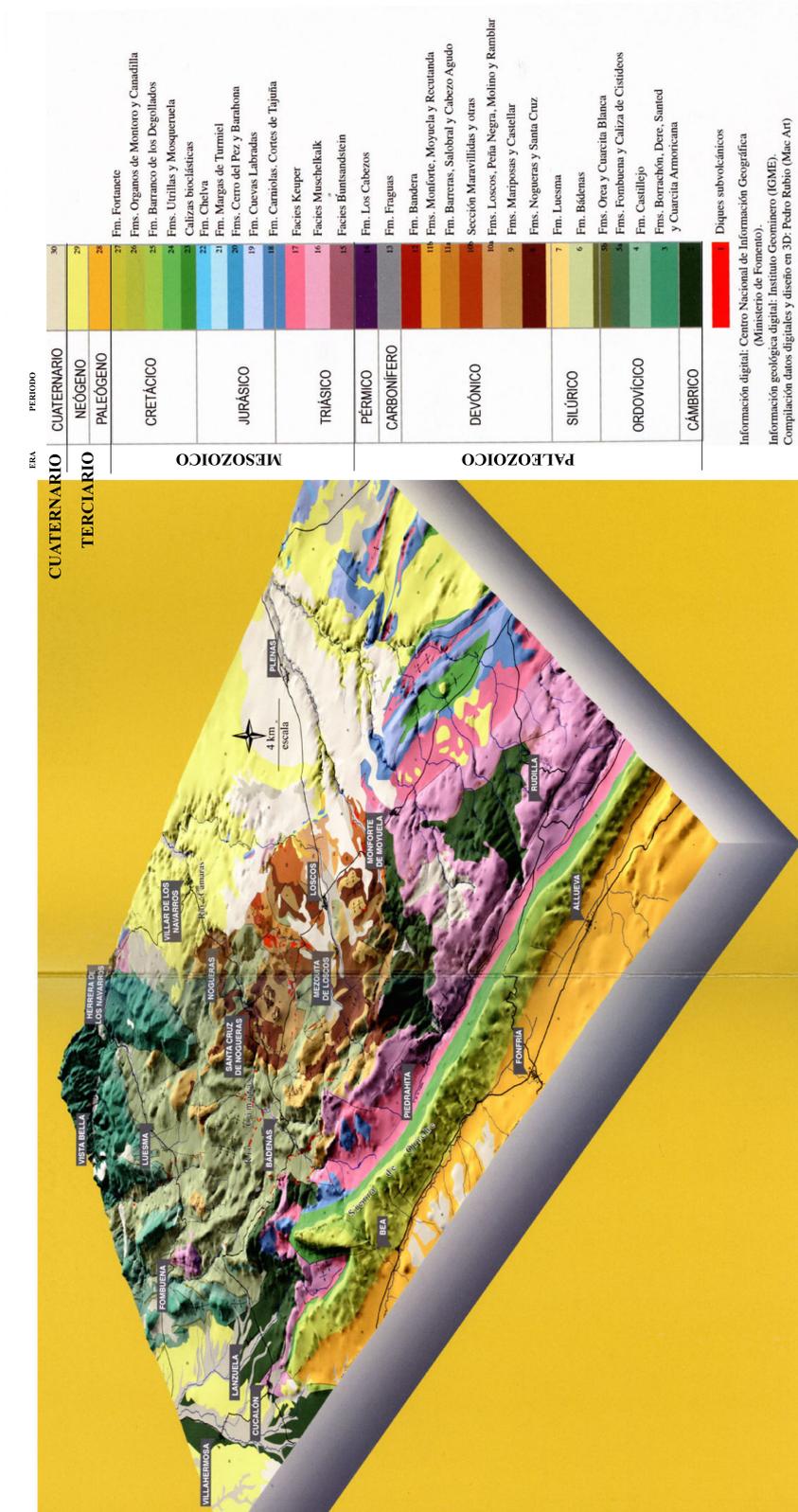


Figura 4 – En la imagen superior se muestra un bloque diagrama con el relieve y la geología general de una amplia zona alrededor de Sta. Cruz de Nogueras. Observa que en este bloque diagrama están representados todas las eras y periodos geológicos desde el Paleozoico. Tomada de Herrera y Villas (2013).

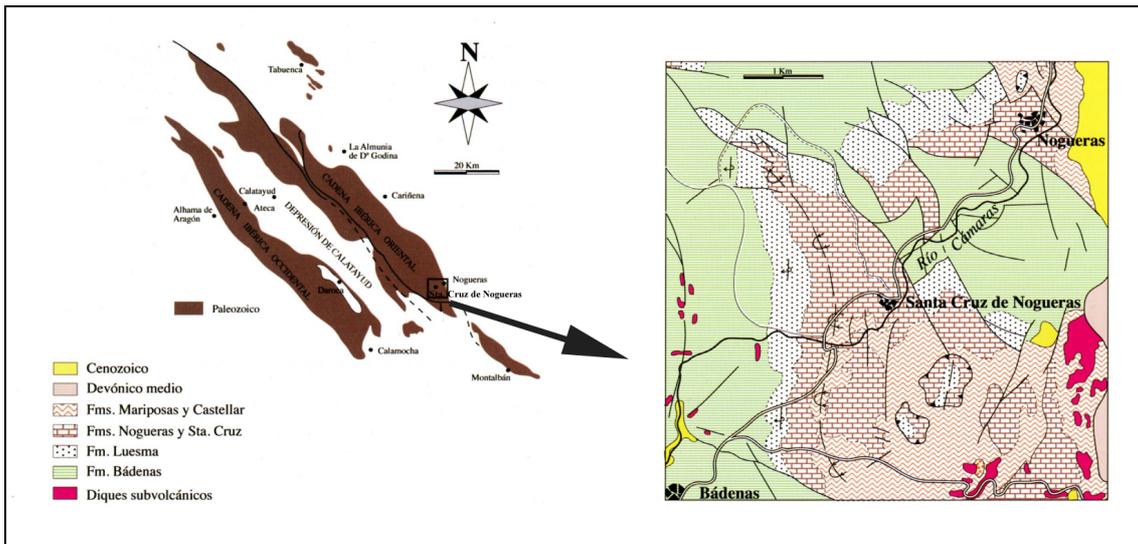


Figura 5 – Situación geológica de Santa Cruz de Nogueiras. A la izquierda podemos ver la posición de Sta. Cruz de Nogueiras en la Cadena Ibérica Oriental (recuadro negro) y a la derecha el mapa geológico simplificado de una zona de 6x6 km centrada en dicha localidad. Modificada de Herrera y Villas (2013).

Estratigrafía

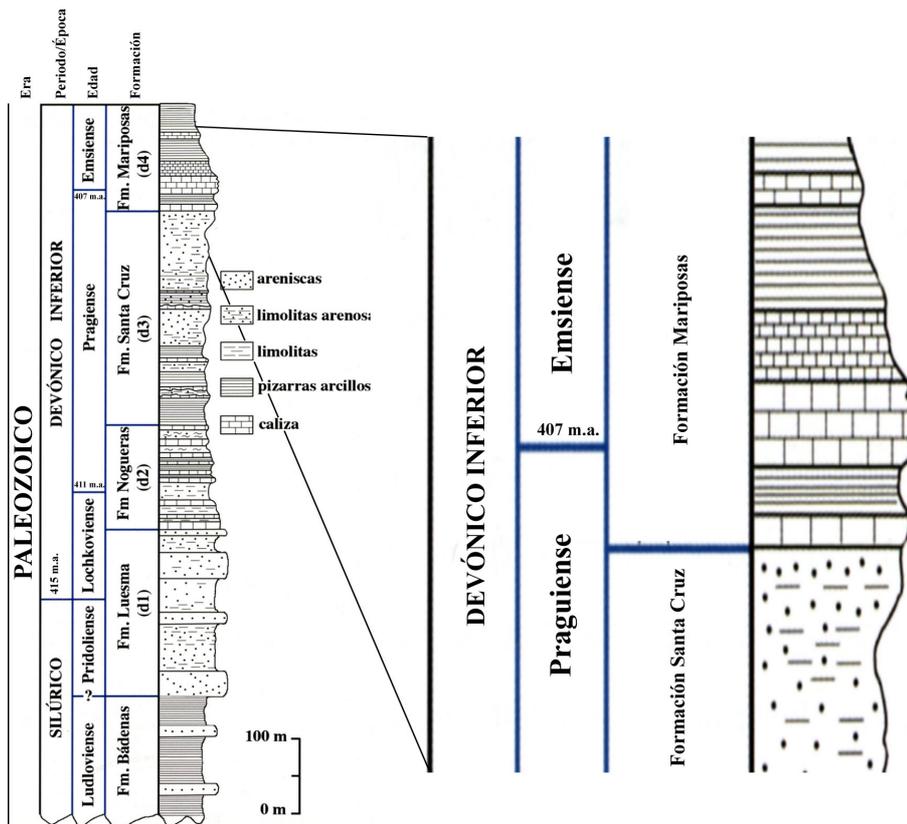


Figura 6 – Columnas estratigráficas regional y local. A la izquierda se muestra la columna estratigráfica completa de los materiales que afloran en los alrededores de Sta. Cruz de Nogueiras. A la derecha vemos con más detalle los materiales que afloran en el corte geológico El Pozo de la Caldereta. ¿Sabrías calcular su escala? Modificado de Herrera y Villas (2013). Recuerda que en una columna estratigráfica los materiales más antiguos se colocan en la parte más baja de la columna.

Instrucciones para medir la dirección y el buzamiento de los estratos

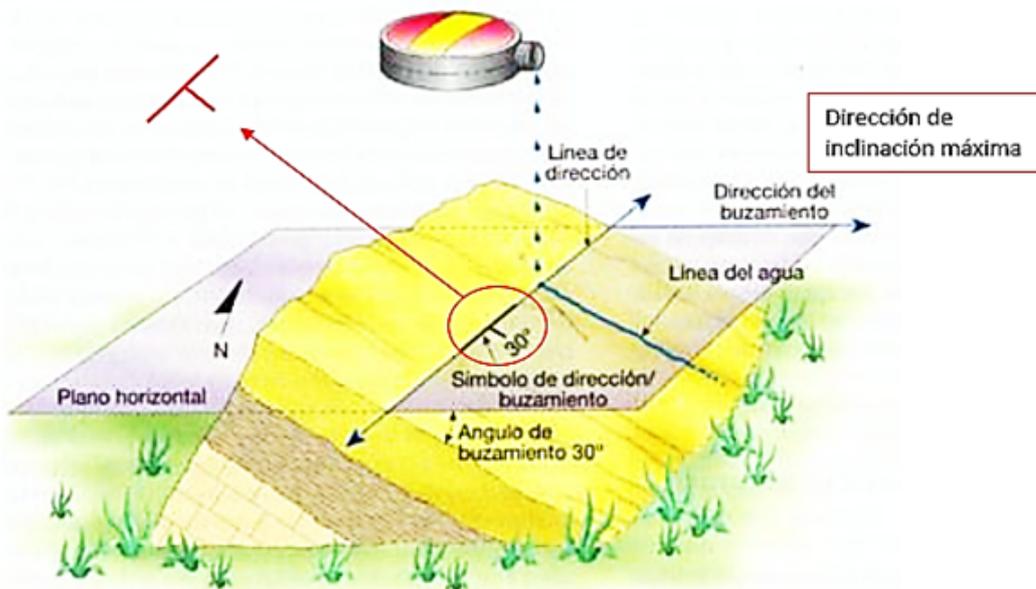
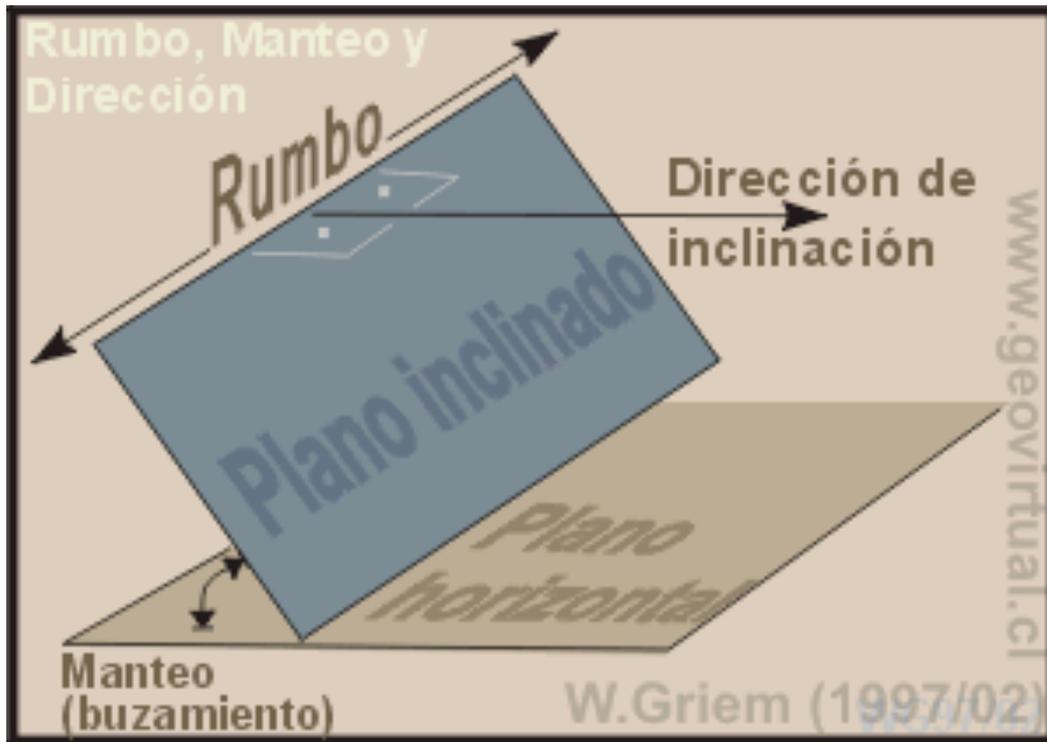
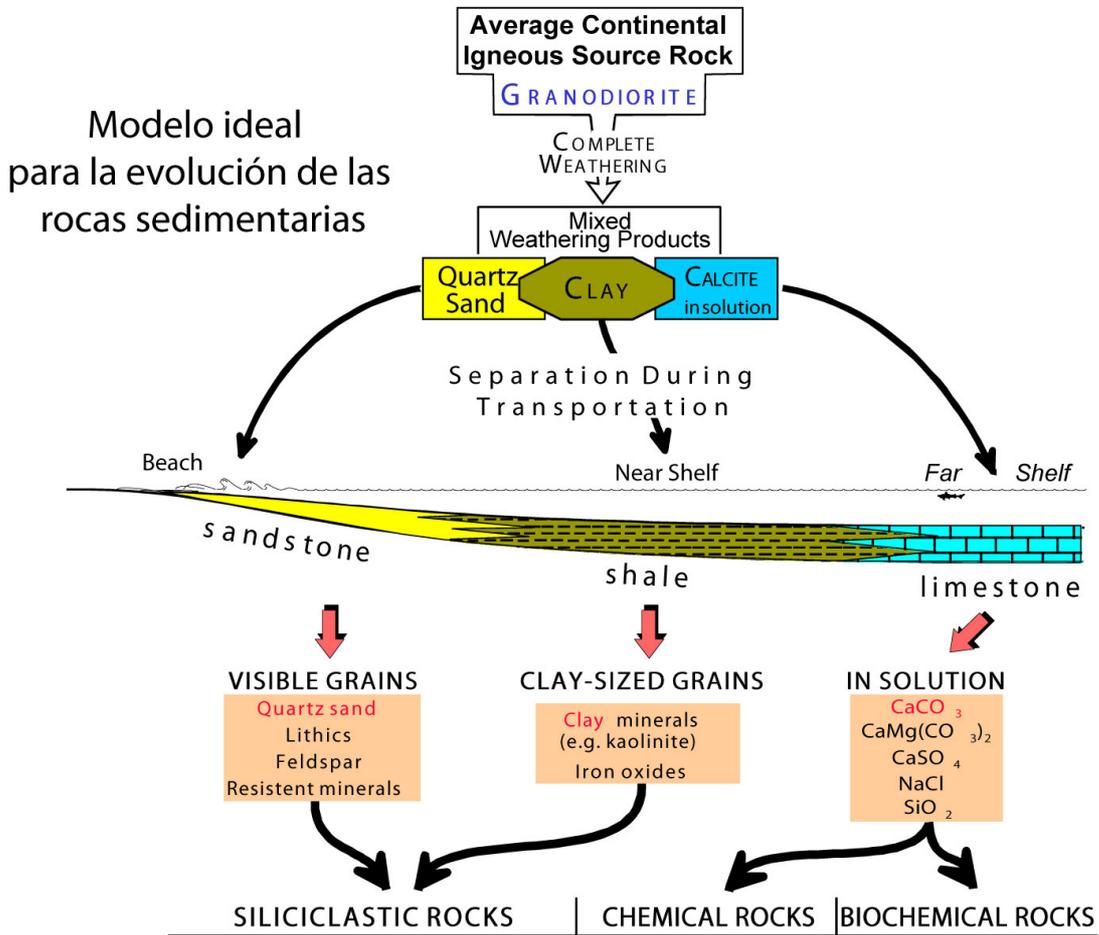


Figura 7 – Diagramas recordatorios para medir la dirección y el buzamiento de los estratos. Recuerda que el buzamiento mide la inclinación máxima de los estratos y que la dirección (denominada rumbo en la figura superior) se mide perpendicular al buzamiento.

MEDIO DE DEPÓSITO DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS



L.S. Fichter, 1993, 2000

<http://geollab.jmu.edu/Fichter/SedRx/sedclass.html>

Figura 8 – Modelo de depósito en una plataforma. Diagrama esquemático de una plataforma continental donde se observa la secuencia de sedimentación de los materiales que, tras el enterramiento y los procesos diagenéticos, darán lugar a las diferentes rocas sedimentarias: areniscas, lutitas y calizas.

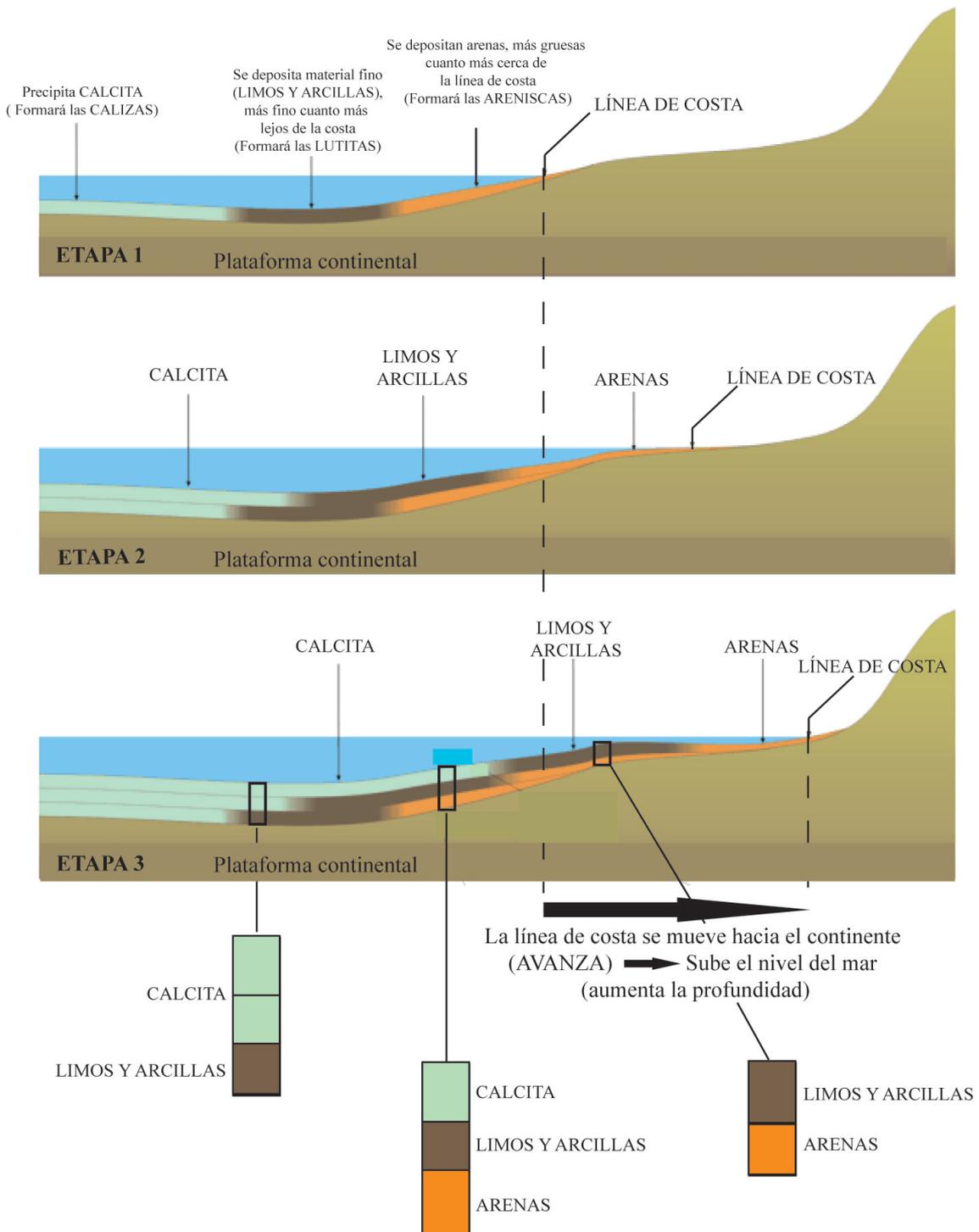


Figura 9 – Superposición de tres tipos de sedimentos al producirse una subida del nivel del mar (avance tierra adentro de la línea de costa). Piensa cómo sería la superposición de estos sedimentos si ahora la línea de costa comenzara a retroceder. El que seas capaz de construir este modelo mental es muy importante para interpretar correctamente la alternancia de litologías que estás observando en el afloramiento.

¿Qué puedes observar en la Fm. Sta. Cruz además de la litología?



Figura 10 – *Ripples* simétricos producidos por el oleaje. De la Figura 11 podrás deducir la profundidad máxima a la que se pueden formar este tipo de ripples en condiciones normales (con buen tiempo). Escala aproximada 1 m. Nota: todas las imágenes que mostraré a continuación han sido tomadas de Herrera y Villas (2013).

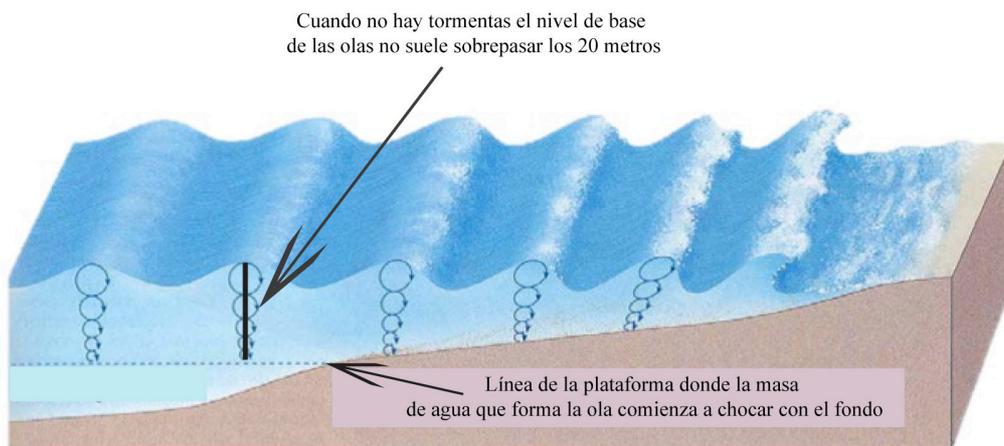


Figura 11 – Nivel de base de las olas con buen tiempo. Este nivel de base divide la plataforma continental en dos zonas: aquella con una profundidad menor que el nivel de base de las olas y que, por tanto, se ve afectada por ellas; y aquella cuya profundidad es mayor que el nivel de base de las olas y que, por tanto, no se ve afectada por ellas. Los ripples y otras estructuras sedimentarias similares solo se pueden formar en la primera de estas dos zonas.



Figura 12 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. *Zoophycos* (pista fósil). Recurre a tus conocimientos teóricos e interpreta su ambiente de formación (escala: diámetro aproximado de 30 cm).



Figura 13 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. Pista fósil producidas por organismos de cuerpo blando (sin clasificar). Escala desconocida.

¿Qué puedes observar en la Fm. Mariposas además de la litología? FÓSILES corporales y moldes

Recuerda que todos estos organismos habitaron esta plataforma continental devónica a una profundidad superior al nivel de base del oleaje en condiciones normales (buen tiempo). Pero en periodos de tormentas las olas son más altas y el nivel de base del oleaje descende. Basándote en este hecho ¿qué explicación le darías a la acumulación de fósiles que observas en el paquete de calizas de la Figura 14, sabiendo que no vivieron sobre ese sedimento?

Nota: Recuerda que, utilizando el material aportado por los profesores en clase, debes clasificar en grandes grupos los fósiles de la Fm. Mariposa y añadir esta información a la memoria.



Figura 14 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. Acumulación de conchas desarticuladas y fragmentadas sobre el techo de un paquete de calizas (escala desconocida).



Figura 15 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. A la izquierda dos ejemplares del género *Leptaenopyxis* (escala: x 1). A la derecha cuatro valvas de la especie *Dalejina hamoni* (escala: x 1,2)



Figura 16 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. Ejemplares completos del género *Leptaena* (escala: x 2,2)



Figura 17 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. Valvas completas de la especie *Isorthis tetragona* (escala: x 2,3)



Figura 18 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. Trepostomado masivo (escala: x 1,2)



Figura 19 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueiras. Ejemplar completo del género *Metacantina* (escala: x 2)



Figura 20 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueiras. Ejemplar enrollado del género *Phacops* (escala: x 2,4)



Figura 21 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueiras. A la izquierda dos fragmentos de esqueletos de ejemplares del género *Phacops* (escala: x 1,5 imagen superior y x 4,4 imagen inferior). A la derecha dos fragmentos de ejemplares de la especie *Metacanthina asnoensis* (escala: x 1,5 imagen superior y x 0,9 imagen inferior).



Figura 22 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueiras. Dos vistas diferentes de un ejemplar de un polípero solitario (escala: x 5,8)



Figura 23 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueiras. Ejemplares de coral tabulado (escala: x 0,8 imagen de la izquierda y x 1,5 imagen de la derecha).

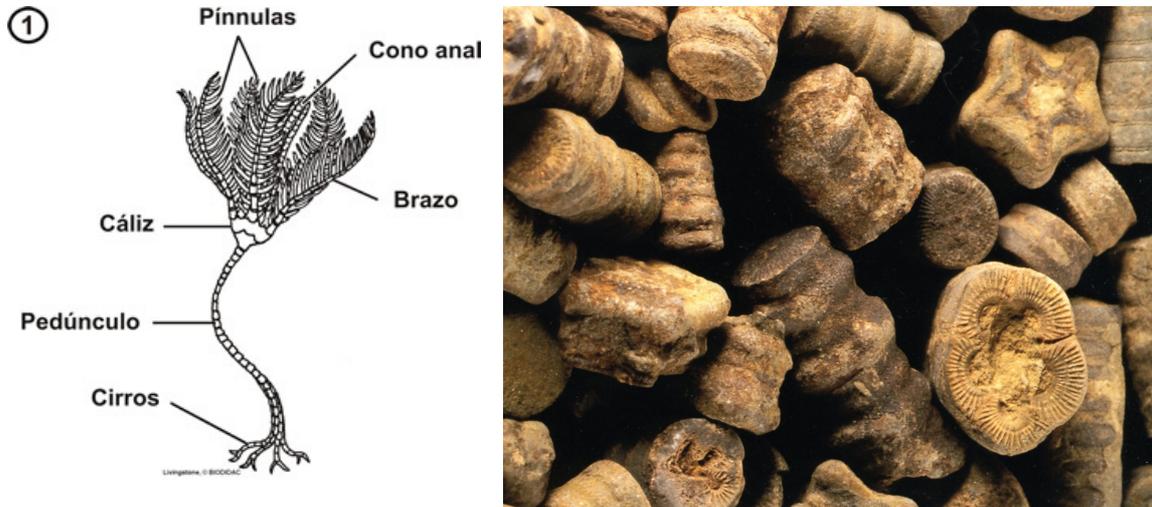


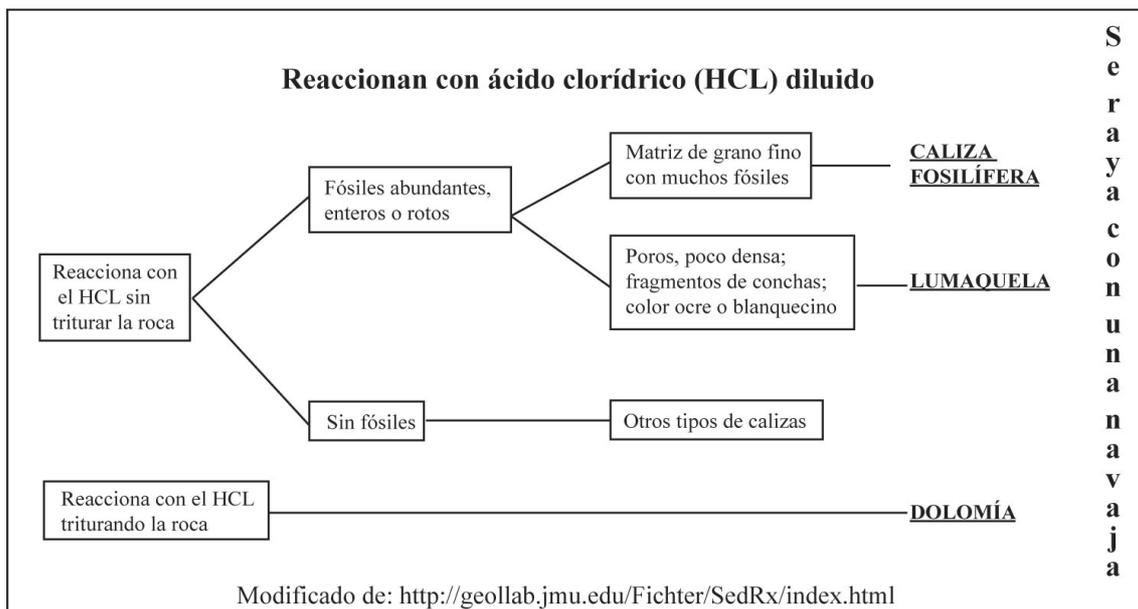
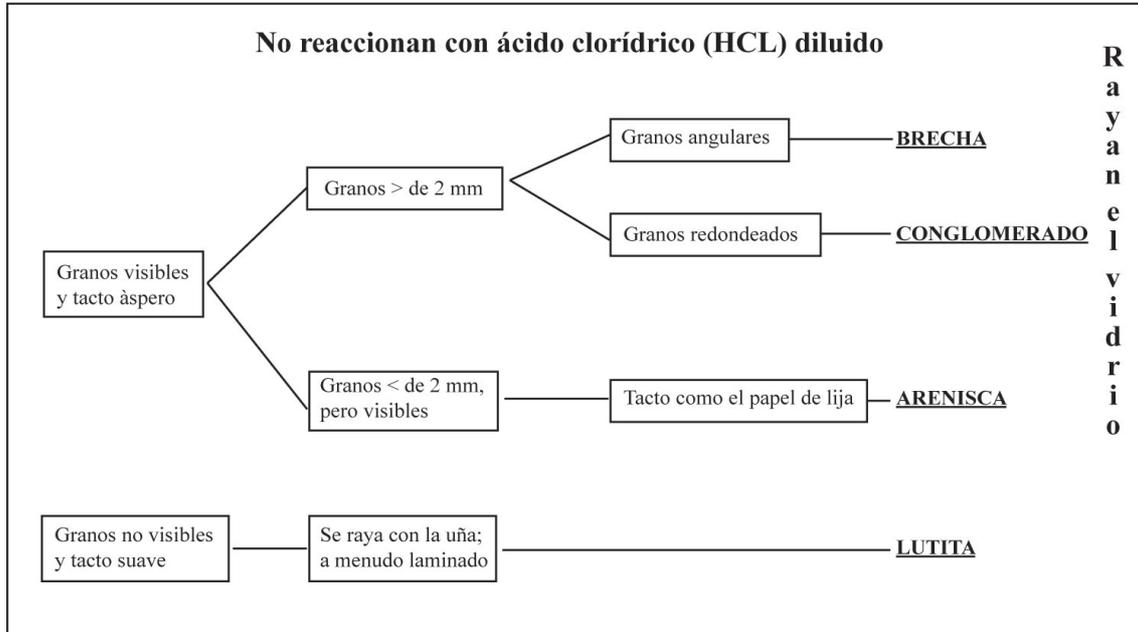
Figura 24 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueiras. A la izquierda reconstrucción esquemática de un crinoideo. A la derecha fragmentos de pedúnculos (o tallo) pertenecientes a diferentes géneros (escala: x 1,8).



Figura 25 – Fósiles en el Devónico de Santa Cruz de Nogueras. Esqueleto completo de un tentaculites (escala: x 6).

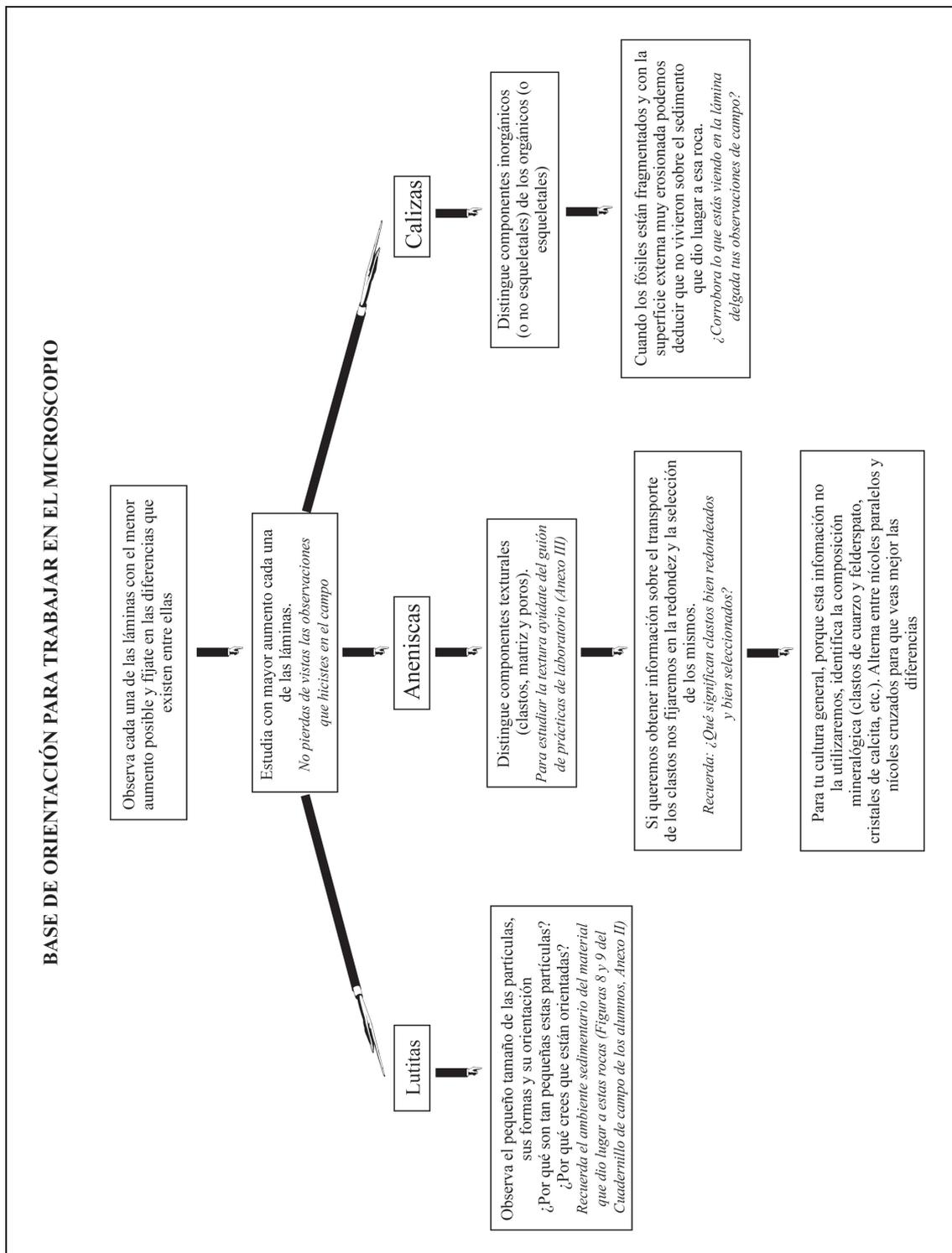
ANEXO II

DIAGRAMA PARA IDENTIFICAR LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

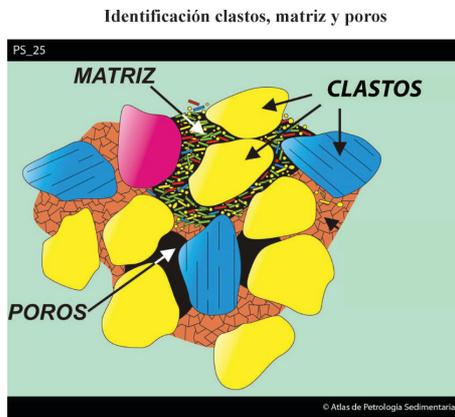


ANEXO III

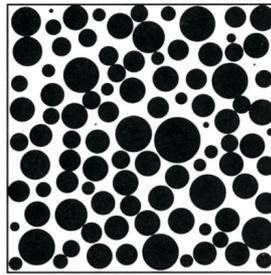
BASE DE ORIENTACIÓN PARA TRABAJAR CON LAS LÁMINAS DELGADAS



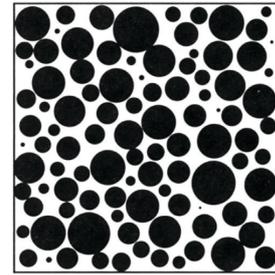
GUIÓN PARA ESTUDIAR LA TEXTURA DE LAS ARENISCA



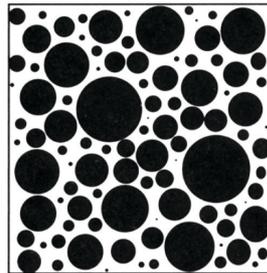
Selección de los clastos



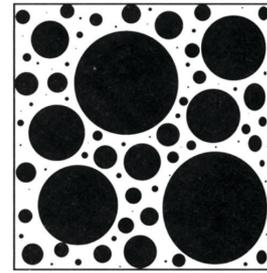
Bien seleccionados



Moderadamente bien seleccionados

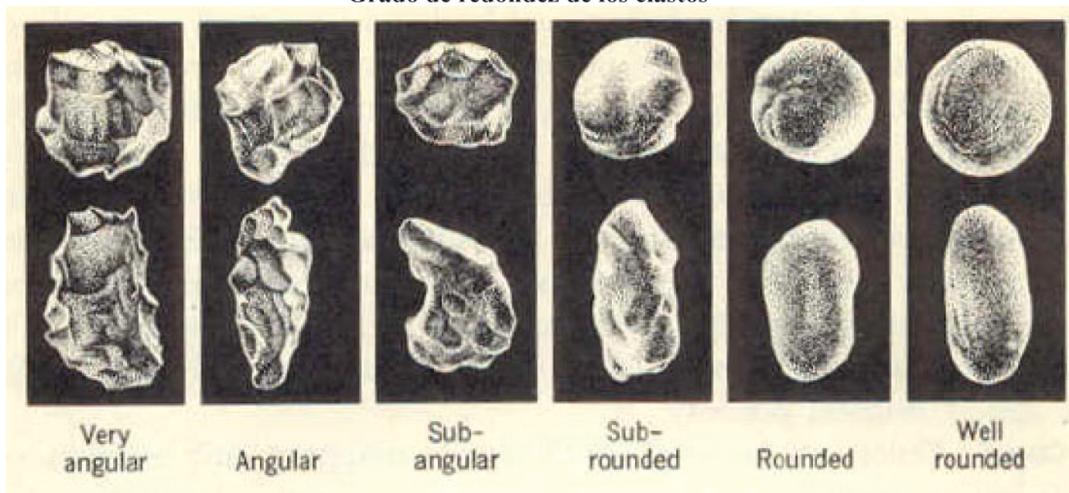


Mal seleccionados

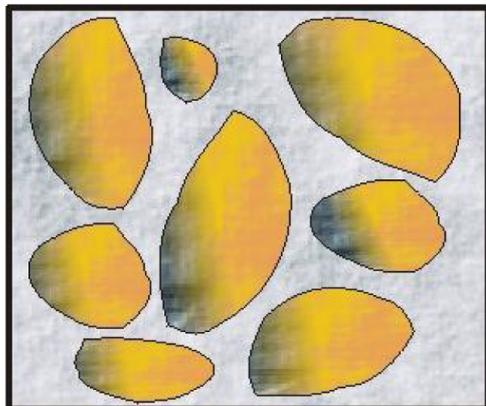


Muy mal seleccionados

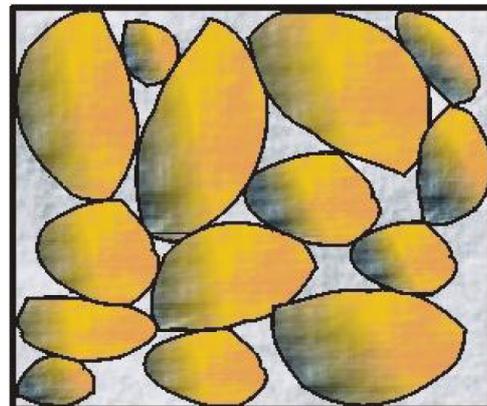
Grado de redondez de los clastos



Textura no granosostenida



Textura granosostenida



ANEXO IV

RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA PRESENTACIÓN Y EXPOSICIÓN ORAL DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LAS LÁMINAS DELGADAS

ALUMNOS:

EVALUADOR:

ÍTEMS EVALUADOS (la máxima puntuación que puede obtener el alumno son 3 Puntos)	PUNTUACIÓN OBTENIDA
1- ¿El trabajo ha sido entregado dentro del plazo establecido? (MÁXIMO 0,33 PUNTOS) No= 0 Puntos Si= 0,33 Puntos	
2.a- Maquetación de la presentación: ¿se mantienen los márgenes en las diapositivas? (MÁXIMO 0,11 PUNTOS) No= 0 Puntos El resultado es mejorable= 0,06 Puntos Si= 0,11 Puntos	
2.b- Maquetación de la presentación: ¿resalta el color del texto sobre el fondo de la diapositiva? (MÁXIMO 0,11 PUNTOS) a) No= 0 Puntos El resultado es mejorable= 0,06 Puntos Si= 0,11 Puntos	
2.c- Maquetación de la presentación: ¿la densidad del texto se adecúa al tamaño de la diapositiva? (MÁXIMO 0,11 PUNTOS) a) No= 0 Puntos El resultado es mejorable= 0,06 Puntos Si= 0,11 Puntos	
3- ¿El texto de las diapositivas es gramaticalmente correcto? (MÁXIMO 0,33 PUNTOS) Los tiempos verbales utilizados son incorrectos y hay tantas incorrecciones de puntuación, concordancia y número de género que claramente indican que se ha prestado muy poca atención a este apartado= 0 Puntos Los tiempos verbales son correctos, pero las incorrecciones de puntuación y de concordancia y número de género son tantas que se ve que los alumnos han trabajado poco este apartado= 0,15 Puntos Los tiempo verbales son correctos, aunque hay algunas incorrecciones de puntuación y de concordancia y número de género, pero se ve que los alumnos han trabajado este apartado= 0,25 Puntos La gramática es correcta en todos los aspectos= 0,33 Puntos	
4- ¿La ortografía es correcta? (MÁXIMO 0,33 PUNTOS) Hay faltas ortográficas graves= 0 Puntos Hay faltas ortográficas, relacionadas con el vocabulario geológico y con las reglas de acentuación= 0,15 Puntos El alumno se ha interesado en conocer la ortografía del vocabulario geológico necesario, pero quedan errores relacionados con las reglas de acentuación= 0,25 Puntos La ortografía es correcta= 0,33 Puntos	
5- ¿La presentación está bien estructurada (introducción, exposición del problema, resultados y conclusiones), es homogénea y de calidad? (MÁXIMO 0,33 PUNTOS) No, la presentación no se adecúa a lo que debe ser la exposición y la comunicación de los resultados de un trabajo de investigación para estudiantes de 4º de la E.S.O.= 0 Puntos	

<p>La presentación tiene una estructura correcta, pero su calidad en general es baja; además, no es homogénea pues hay apartados a los cuales se les presta poca atención= 0,15 Puntos</p> <p>La presentación tiene una estructura correcta y es homogénea, pero su calidad es mejorable= 0,25 Puntos</p> <p>La presentación tiene una estructura correcta, es homogénea y de buena calidad= 0,33 Puntos</p>	
<p>6- ¿Los alumnos utilizan material gráfico (fotografías y esquemas) en la presentación y este ha sido creado por ellos? (MÁXIMO 0,33 PUNTOS)</p> <p>No usan material gráfico= 0 Puntos</p> <p>Si, pero el material no es de creación propia y es escaso= 0,10 Punto</p> <p>Si, el material es el adecuado y muy ilustrativo, pero no es de creación propia= 0,20 Puntos</p> <p>Si, el material es el adecuado, muy ilustrativo y de creación propia= 0,33 Puntos</p>	
<p>7- ¿Los alumnos tienen una expresión oral correcta y presentan su trabajo sin leer el texto de las diapositivas? (MÁXIMO 0,6 PUNTOS)</p> <p>No, los dos alumnos evaluados leen la presentación= 0 Puntos</p> <p>Uno de los dos alumnos evaluados lee la presentación y la expresión oral del otro alumno es pobre= 0,2 Puntos</p> <p>Ninguno de los dos alumnos lee la presentación, pero la expresión oral de ambos es pobre= 0,4 Puntos</p> <p>Ninguno de los dos alumnos lee la presentación, pero la expresión oral de uno de ellos es pobre= 0,5 Puntos</p> <p>Los alumnos utilizan la diapositiva como apoyo y su expresión oral es correcta= 0,6 Puntos</p>	
<p>8- ¿Los estudiantes han podido responder a las preguntas realizadas por los profesores o por sus compañeros? (MÁXIMO 0,42 PUNTOS)</p> <p>No= 0 Puntos</p> <p>Solo han respondido a algunas preguntas y sus respuestas han sido poco desarrolladas= 0,1 Punto.</p> <p>Solo han respondido a algunas preguntas, pero sus respuestas estaban muy bien fundamentadas= 0,3 Puntos</p> <p>Los alumnos han respondido adecuadamente a todas las cuestiones planteadas= 0,42 Puntos</p>	
SUMA DE LA PUNTUACIÓN	

ANEXO V

INSTRUCCIONES GENERALES Y APARTADOS QUE DEBE CONTENER EL INFORME DE LA INVESTIGACIÓN DIRIGIDA

Instrucciones generales

El informe debe tener una extensión no superior a 12 páginas (texto, fotografías, esquemas y bibliografía incluidos). Utiliza la fuente Time New Roman o Arial (la que prefieras), tamaño de 12 pts., espacio sencillo entre líneas y separación de párrafos a doble espacio. Justifica el texto a derecha e izquierda, con sangría de 1cm en la primera línea de cada párrafo. Los títulos y diferentes subtítulos ponlos como tu quieras, pero que se vea la jerarquía de los apartados y no utilices en ningún caso un tamaño de letra superior a 16 pts. Pon márgenes de 2.5 cm por cada lado.

apartados que debe contener

Introducción

Este es, seguramente, el apartado más difícil. En él debes plantear y engarzar de forma atractiva diversas cuestiones que, a veces, puedes no verles relación. Una forma sencilla de comenzar sería encuadrar el trabajo de investigación que has realizado en su disciplina académica (en la asignatura donde lo presentas) y explicar los beneficios que este trabajos te ha aportado para entenderla. Puedes también hacer un resumen muy general de la zona donde has realizado el trabajo y de lo principales resultados obtenidos. Y, enlazando con este resumen, puedes detallar en un párrafo independiente cuáles son los objetivos de la investigación. Una recomendación que te hago es que, aunque los objetivos los debes tener *clarísimos* desde el comienzo del trabajo para poder llevarlo a cabo con éxito, dejes la introducción para el final (una vez que ya tengas redactados el resto de apartados ponte con ella).

Situación geográfica y geológica de la zona estudiada

Para este apartado utiliza la bibliografía aportada por los profesores. Al hablar de la **situación geográfica** debes conseguir que una persona que no conozca Santa Cruz de Nogueras la localice fácilmente en un mapa. Deberías señalar la provincia en la que se encuentra, la comarca, en qué posición dentro de la comarca, en que cordillera (Cadena Ibérica Oriental u Occidental), etc. y es muy recomendable ilustrarlo con imágenes. En la **situación geológica** puedes dar las características geológicas generales de la cordillera (edad de los materiales que aparecen, cuál es el tipo de litología predominante, etc.), cuándo se formó la cordillera (sólo mencionarlo, pues lo describirás con más detalle en el apartado de la historia geológica). Y, a continuación describe con más detalle la geología de la zona donde está el corte geológico estudiado (la edad y el tipo de los materiales que afloran en las cercanías de Santa Cruz de Nogueras, aunque no los hayas estudiado, y la edad y el tipo de los materiales que has estudiado, así como las formaciones a la que pertenecen); ve siempre de lo más general a lo más concreto. Ilustra este apartado con fotografías generales de la zona.

Estratigrafía

Aquí debes describir en detalle el corte geológico estudiado, o sea, las características de las dos formaciones geológicas que has nombrado en el apartado

anterior. Debes dar la potencia completa del corte estudiado; la potencia de cada formación; la litología y potencia media de los estratos que forman las dos formaciones geológicas; las estructuras sedimentarias y los fósiles que hayas reconocido, junto con su abundancia; etc. El ambiente de depósito de estos materiales, pero sólo mencionarlo porque ya los describirás con detalle cuando reconstruyas la historia geológica de la zona. Y, muy importante, dibuja tu propia columna estratigráfica a escala con los datos que tomaste en el campo.

Estudio textural de las rocas

En este apartado debes describir e interpretar la textura de las rocas que has estudiado en lámina delgada (únicamente las tres que has estudiado tu). Es lo mismo que hicisteis para la presentación oral, pero redactado. Separa claramente la descripción de la interpretación. Utiliza tus esquemas para ilustrar las descripciones, pero intenta ser lo más realista posible con lo que visteis en las láminas.

Reconstrucción de la historia geológica de Santa Cruz de Nogueras

Guíate de las recomendaciones de la base de orientación y construye el discurso o la narración a partir de las preguntas que allí se te hacen.

Consideraciones finales

Puedes hablar de los aspectos más interesantes del trabajo y de lo que ha supuesto esta investigación para ti (de lo que has aprendido, de las dificultades que has tenido, etc.).

Bibliografía

Tienes que recopilar en este apartado los libros, las páginas webs, los artículos y cualquier otro material que hayas utilizado en tu investigación. Pregunta a los profesores cuál es la forma correcta de citar una referencia bibliográfica. Sería muy deseable que las citas aparecieran con antelación en el texto (apellidos de los autores y año de publicación) y en este apartado des la cita completa (por ejemplo, para un artículo en una revista científica: apellidos, inicial del nombre, año, título del artículo, revista, volumen y páginas).

ANEXO VI

EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA DE INVESTIGACIÓN DIRIGIDA

Los profesores queremos conocer tu opinión acerca de la propuesta didáctica de investigación dirigida en la que has trabajado durante el último trimestre. Para ello nos gustaría que contestaras a estas preguntas *de forma sincera*. No se trata de que nos digas que “todo me ha gustado mucho” para complacernos o por temor a represalias, que no las habrá. El objetivo de estas preguntas es mejorar la actividad para el futuro.

Nota: Por favor, no contestes únicamente si o no, EXPLICA EL POR QUÉ DE TU RESPUESTA.

1– ¿Qué contenidos teóricos de los necesarios para tu trabajo de investigación dirigida te han resultado más complicados? ¿Te han ayudado los recursos didácticos (vídeos, modelos, etc.) en el proceso de aprendizaje de estos contenidos?

2– ¿Qué opinión general te merecen los recursos didácticos que hemos utilizado en las clases de teoría?

3– En un rango de 0 (muy mala) a 5 (muy buena), ¿cómo calificarías tu visión espacial? ¿Crees que ha mejorado después de este trabajo?

4– ¿Cuál, o cuáles han sido las dificultades mayores que has encontrado en tu trabajo de campo? ¿Qué es lo que te ha parecido más fácil?

5– ¿Te han ayudado la base de orientación y el Cuadernillo de campo en tus observaciones y en el desarrollo del trabajo de campo?

6– ¿Te ha parecido suficiente un único día de campo para realizar tus observaciones o crees que es necesario más tiempo?

7– ¿Te ha resultado interesante trabajar con un microscopio petrográfico?

8– ¿Te han ayudado la base de orientación, los esquemas proporcionados por los profesores y las guías de minerales en esta práctica con el microscopio?

9– En un rango de 0 (mucha dificultad) a 5 (poca dificultad), ¿has tenido dificultades para integrar los diferentes conceptos teóricos con lo que has visto en el campo y en el laboratorio? ¿Qué ha sido lo más complicado?

10– ¿Te ha ayudado la base de orientación a comprender los hechos a los que nos referimos los geólogos cuando hablamos de *historia geológica* de un determinado lugar?

11– Una vez terminado el trabajo ¿serías capaz de reconstruir en tu mente una imagen del concepto tiempo en geología?

12– Y, por último, ¿qué te parece el aprendizaje mediante la metodología de la investigación dirigida? ¿Por qué te gusta más o menos que otros métodos? ¿Te gustaría volver a realizar otro trabajo de este tipo (no tiene por qué ser de Geología)?

