



Pablo González Piñero

“Un extraño descubrimiento”:
propuesta de
indagación para 4º
de ESO a través de los fósiles.



“UN EXTRAÑO DESCUBRIMIENTO”:
PROPUESTA DE INDAGACIÓN PARA 4º
DE ESO A TRAVÉS DE LOS FÓSILES.

Curso: 2015-2016
Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario de Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria
y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas
(especialidad en Biología y Geología)

Autor: Pablo González Piñero

Directores: Francisco Javier Carrillo Rosúa
Raef Minwer-Barakat Requena



UGR

Universidad
de Granada

RESUMEN

Se presenta una propuesta didáctica fundamentada destinada a la materia de Biología y Geología del curso de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Para su realización, tomamos como referencia la metodología de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (“IBSE”, siglas correspondientes a su denominación en inglés: *Inquiry Based Science Education*) y otras estrategias didácticas complementarias. La secuencia, constituida por 10 actividades, se estructura en torno al uso de los fósiles como recurso didáctico y al trabajo con diferentes contenidos curriculares, correspondientes al curso en cuestión. Asimismo, IBSE se nos muestra como un planteamiento metodológico integrador, capaz de responder a las demandas de organizar la intervención educativa en torno al desarrollo de las competencias, en general, y de la competencia científica, en particular.

Palabras Clave: Educación Secundaria Obligatoria (ESO), indagación, propuesta didáctica, secuencia de actividades, competencia científica, concepciones alternativas, biología y geología, fósil.

ABSTRACT

We present a didactic project, which is made for covering "Biology and Geology" subject, from High School students ("4º de Educación Secundaria Obligatoria" in Spanish Educational System). For its development, we take into account the “Inquiry Based Science Education” approach (IBSE) and other supplementary teaching strategies. The teaching learning sequence, which includes 10 activities, is structured around the use of fossils as a didactic resource and the work with different curricular contents that are consistent with the required level. Furthermore, IBSE appears as an inclusive teaching methodology, which is able to propose a respond to the requests of organising educational intervention around to the development of competencies, in general, and the scientific competency, in particular.

Key words: Secondary School, Inquiry, Didactic Project, Teaching Learning Sequence, Scientific Competency, Misconceptions, Biology and Geology, Fossil

AGRADECIMIENTOS

No me gustaría comenzar este trabajo sin mostrar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido y han hecho posible, de una u otra manera, la realización de este Trabajo de Fin de Máster.

En primer lugar, agradecer a mis directores, Dr. Francisco Javier Carrillo Rosúa y Dr. Raef Minwer-Barakat Requena, la incansable labor realizada y la enorme profesionalidad demostrada durante los últimos meses. A lo largo de este tiempo han sido muchas las dudas surgidas y los recursos necesitados, pero todo ha sido más fácil y llevadero con el asesoramiento aportado por ambos, siempre rápido, eficiente y profundamente entusiasta.

De igual manera, agradecer a mi tutora de prácticas, Juana María Fuentes Jiménez, del IES Cartuja de Granada, por el esfuerzo realizado para que aprovechara mi estancia en el instituto todo lo posible. Su gran vocación y compromiso, perfectamente perceptible a lo largo de todo el tiempo que compartí con ella, han contribuido, sin duda, a que incrementen mis deseos de dedicarme a la función docente durante mi vida profesional.

También me gustaría mencionar a mis compañeros/as del máster, con quienes he podido compartir impresiones e intercambiar opiniones; algo que sin duda ha favorecido mi crecimiento personal.

Igualmente, quiero darles mis más sinceros agradecimientos a aquellas personas que, de una u otra forma, han contribuido a la realización de este trabajo, como el Dr. Marc Furió, del *Institut Català de Paleontologia*, quien amablemente accedió a cederme fotografías esenciales para el enriquecimiento de este trabajo, o la Dra. María Martínez Chico, con quien tuve el placer de trabajar y quien me despertó el interés por la indagación como metodología didáctica.

Finalmente, no quiero dejar de agradecer a mi compañera, Laura, su apoyo constante durante todo este tiempo, tanto en lo anímico como en la inmejorable ayuda recibida para la realización de toda la parte “artesana” del trabajo. Asimismo, miles de gracias a mi familia, pues sin su apoyo, en todos los sentidos, no podría haber llegado hasta dónde estoy hoy.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	11
3.1. <i>Las competencias clave. Hacia un nuevo contexto educativo.</i>	11
3.1.1. Las Competencias Clave	11
3.1.2. La Competencia Científica	14
3.2. <i>Enseñanza de las ciencias basada en la indagación.</i>	20
3.3. <i>La importancia de las ideas previas o concepciones alternativas para un aprendizaje significativo.</i>	28
3.3.1. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre el concepto “fósil” y el proceso de “fosilización”.....	31
3.3.2. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre el concepto de “tiempo” en geología.	32
3.3.3. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre el concepto de “evolución”	35
3.4. <i>Las grandes ideas (Big Ideas) en la enseñanza de las ciencias.</i>	38
4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA.....	41
4.1. <i>Marco curricular.</i>	41
4.2. <i>Secuencia de actividades.</i>	47
Sesión 1.....	47
Actividad 1: Una roca misteriosa.	47
Sesión 2.....	50
Actividad 2: Recopilando información sobre los fósiles.	50
Sesión 3.....	53
Actividad 3: Contrastando ideas sobre la identidad de la estructura encontrada.	54
Sesión 4.....	56
Actividad 4: El “año geológico”	57
Sesión 5.....	61
Actividad 5: ¿Qué nos dice nuestro fósil?	61
Sesión 6.....	65
Actividad 6: ¿De qué se alimentaba nuestro animal? Buscando y analizando pruebas.	65
Sesión 7.....	68
Actividad 7: ¿De qué se alimentaba nuestro animal? Obteniendo conclusiones.....	68
Sesión 8.....	70
Actividad 8: ¿De qué especie se trata? Resolviendo el misterio.	70
Sesiones 9 y 10	76
Actividad 9: ¿Cómo ocurre la evolución? Aproximación a la evolución por selección natural.	76
Sesión 11	85
Actividad 10: ¿Hemos hecho ciencia?.....	85
4.3. <i>Evaluación.</i>	90
4.3.1. Evaluación inicial o diagnóstico.	92
4.3.2. Evaluación formativa/formadora.....	92
4.3.3. Evaluación sumativa.	94
5. REFLEXIONES FINALES.....	95
6. REFERENCIAS	97
7. ANEXOS.....	104
<i>Anexo 1 Ficha actividad 2</i>	104

<i>Anexo 2 Tabla cronoestratigráfica</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 3 Calendario geológico I</i>	<i>106</i>
<i>Anexo 4 Calendario geológico II.....</i>	<i>107</i>
<i>Anexo 5 Ficha actividad 6 I.....</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 6 Ficha actividad 6 II</i>	<i>109</i>
<i>Anexo 7 Ficha actividad 6 III.....</i>	<i>110</i>
<i>Anexo 8 Ficha actividad 8 I.....</i>	<i>111</i>
<i>Anexo 9 Ficha actividad 8 II</i>	<i>112</i>
<i>Anexo 10 Ficha actividad 8 III.....</i>	<i>113</i>
<i>Anexo 11 Árbol filogenético.....</i>	<i>114</i>
<i>Anexo 12 Ficha actividad 9 I.....</i>	<i>115</i>
<i>Anexo 13 Ficha actividad 9 II</i>	<i>116</i>
<i>Anexo 14 Ficha actividad 9 III.....</i>	<i>117</i>
<i>Anexo 15 Ficha actividad 9 IV</i>	<i>118</i>
<i>Anexo 16 Ficha actividad 9 V.....</i>	<i>119</i>
<i>Anexo 17 Ficha actividad 9 VI.....</i>	<i>120</i>
<i>Anexo 18 Ficha actividad 9 VII.....</i>	<i>121</i>
<i>Anexo 19 Ficha actividad 9 VIII</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 20 Ficha actividad 9 IX</i>	<i>123</i>
<i>Anexo 21 Ficha actividad 9 X.....</i>	<i>124</i>
<i>Anexo 22 Ficha actividad 9 XI</i>	<i>125</i>
<i>Anexo 23 Ficha actividad 9 XII.....</i>	<i>126</i>

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más relevantes y que más influencia ha tenido en el marco educativo actual, en los diferentes estados de la Unión Europea, es el de la instauración progresiva de una nueva perspectiva desde la que abordar la educación, el desarrollo de competencias. Este novedoso enfoque supone un cambio de concepción en cuanto a lo que significa la educación y la función que ésta debe cumplir con respecto al conjunto de la sociedad y al propio individuo. De esta forma, se pasa de una concepción de la educación focalizada en la adquisición de conocimientos teóricos hacia un planteamiento de la educación de mayor amplitud, en el que se intenta dar respuesta a las demandas crecientes de la sociedad contemporánea de individuos con capacidad de hacer frente a los nuevos retos que plantea la sociedad actual. En este sentido, el nuevo marco competencial enfatiza la necesidad de una educación que promueva un desarrollo integral, basado en la interrelación entre conocimientos conceptuales, adquisición de destrezas o habilidades y el desarrollo de actitudes que, de forma conjunta, contribuyan a la adquisición de una mayor capacidad de enfrentarse a situaciones problemáticas en contextos reales y diversos. De esta forma, las competencias se convierten en un elemento curricular clave a la hora de entender la naturaleza de los cambios que se han producido en los sistemas educativos de los estados de la Unión Europea a lo largo de los últimos años (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013a).

Esta perspectiva de la enseñanza basada en competencias, que bebe de la investigación educativa, ha tenido, a su vez, una profunda influencia sobre el campo de la didáctica de las ciencias experimentales, especialmente en lo relativo al desarrollo y conceptualización de la competencia científica. Y es que la enseñanza por competencias surge de una decisión política que parte del proyecto DeSeCo (DeSeCo, 2003 citado en Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015b), pero que a su vez se fundamentó en la investigación educativa. En este sentido, hablar de promover la competencia científica implica concebir la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva polifacética, en la que los conceptos y teorías científicas no se convierten en una finalidad en sí mismas en el desarrollo del proceso educativo, sino como un elemento más en el marco de una concepción más integral del aprendizaje de las ciencias, que impliquen el desarrollo de destrezas, valores y actitudes y que promuevan la capacidad de aplicar los conocimientos y procedimientos científicos en los contextos reales, como medio de análisis de la realidad y resolución de problemas. Por ello, podemos decir que el desarrollo de la competencia científica debe ser abordado desde un planteamiento rico, en el que se trabajen las distintas dimensiones de las que consta: conceptual, metodológica y actitudinal (Cañal, 2012a; 2012b).

En sintonía con lo comentado anteriormente, el enfoque de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (“IBSE”, siglas correspondientes a su denominación en inglés: *Inquiry Based Science Education*) surge como un planteamiento metodológico novedoso y que se ha ido desarrollando especialmente a lo largo de las dos últimas décadas, con un fuerte impacto en el seno de la comunidad docente e investigadora en didáctica de las ciencias experimentales. El marco ofrecido

por la enseñanza basada en la indagación responde al conjunto de necesidades planteadas anteriormente, al pretender conjuntar la introducción del alumnado en el conocimiento teórico de las ciencias y en los procesos que toman parte en ella, permitiendo que vivan experiencias y adquieran habilidades, emulando las situaciones en las que se desarrolla la actividad científica (FIBONACCI, 2012; Minner, Levy y Century, 2012). Asimismo, la enseñanza basada en la indagación, además de una reconceptualización de lo que significa “enseñar ciencias”, implica un enfoque de enseñanza particular, una forma de organizar el proceso de enseñanza-aprendizaje que favorezca tanto el desarrollo fructífero de las clases por parte del docente, como el aprendizaje por parte del alumnado (FIBONACCI, 2012; Martínez-Chico, 2013).

En este trabajo, elaborado en el marco del Máster de Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas, en la Universidad de Granada, realizamos un diseño de propuesta didáctica fundamentada para la asignatura de Biología y Geología en el curso de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Nuestra propuesta consistirá en una secuencia de actividades en la que subyace un proceso indagativo como hilo conductor, centrado en el uso de los fósiles como recurso didáctico, y que aporte sentido a ésta. A través de ella intentamos abordar un trabajo transversal, en lo que a contenidos correspondientes a la etapa y asignatura se refieren, realizando un recorrido por los cuatro bloques en los que el Real Decreto 1105/2014 estructura los contenidos a trabajar en dicho curso (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015a). Asimismo, consideramos la importancia de las ideas previas o concepciones alternativas en el proceso de construcción del conocimiento (Campanario y Otero, 2000), intentando incidir sobre algunos de los conceptos o modelos conceptuales clave en biología y geología, como el concepto de fósil/fosilización, tiempo geológico y evolución/cambio biológico. El empleo de los fósiles nos servirá como recurso para profundizar y materializar el proceso de indagación, basando la intervención en un planteamiento metodológico derivado de la aproximación actualista, frecuente en el campo de la geología, especialmente en el de la paleontología (Villagrán, Segovia, y Castillo, 2014). Asimismo, nos proponemos abordar aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia, mediante la apertura de contextos de reflexión con el alumnado, una vez finalizada la secuencia.

Por lo tanto, el desarrollo de esta propuesta se fundamenta en la convicción de que es necesario emplear estrategias didácticas que promuevan un involucramiento positivo del alumnado en el proceso de construcción del conocimiento, pero siendo conscientes de que este tipo de planteamientos deben ir más allá de la simple acción práctica manipulativa y que deben estar complementados por actividades que impliquen el ejercicio cognitivo de integración de la teoría con los resultados obtenidos mediante el ejercicio práctico (Couso, 2014; Windschitl et al., 2008). Las implicaciones de esta reflexión nos lleva a diseñar una propuesta centrada en la estrategia metodológica de la indagación, pero complementada por otras estrategias didácticas que hemos considerado utilizar en diferentes momentos.

Tras fijar unos objetivos para nuestro trabajo, desarrollamos nuestro marco teórico, centrán-

donos en las implicaciones que tiene el enfoque de competencias sobre el diseño de propuestas educativas, relacionando la metodología de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación con dicho enfoque, especialmente en lo referente al desarrollo de la competencia científica. Por otro lado, investigamos las concepciones alternativas de mayor relevancia para los contenidos a trabajar y profundizamos en el marco de las “grandes ideas” en ciencia (*Big Ideas*) como forma de aproximación didáctica a los contenidos curriculares de una forma amplia e interrelacionada. Finalmente, desarrollamos el marco curricular sobre el que fundamentamos nuestra propuesta y elaboramos la secuencia de actividades correspondiente.

2. OBJETIVOS

Nos hemos planteado dos objetivos para la realización de este Trabajo de Fin de Máster (TFM):

1. Realizar una revisión teórica sobre el significado de la enseñanza por competencias, de la metodología didáctica de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación, de las “grandes ideas” e ideas previas en relación con los tópicos fósil, tiempo geológico y evolución, mediante una extensa revisión bibliográfica.
2. Diseñar una propuesta didáctica, fundamentada en la enseñanza de las ciencias basada en la indagación, para la enseñanza de la Biología y Geología en 4º de ESO, desde una perspectiva centrada en el desarrollo de la competencia científica.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Las competencias clave. Hacia un nuevo contexto educativo.

3.1.1. Las Competencias Clave

Las competencias se han convertido en un elemento curricular clave a lo largo de los últimos años. Su conceptualización y desarrollo tienen, como punto de partida, los objetivos marcados por la Unión Europea de adaptar la educación a los nuevos contextos socioeconómicos y socioculturales de la sociedad del conocimiento. Por lo tanto, se considera indispensable la inclusión de las competencias en el marco educativo comunitario, con una doble finalidad; por un lado, como condición necesaria para el desarrollo económico de Europa y su capacidad para competir en el ámbito internacional y, por otro lado, para favorecer un desarrollo completo e integral del individuo en el ámbito personal, social y profesional. De esta forma, el desarrollo de una educación que incluya el trabajo por competencias aparece como la traducción de un marco estratégico europeo común en el terreno educativo, así como un reto en lo que respecta a la unificación de criterios comunes a todos los países de la Unión Europea durante la década en la que nos encontramos (2010-2020) (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013a). El desarrollo de este nuevo marco estratégico se ha puesto de manifiesto en el enfoque competencial de algunos de los informes educativos internacionales dirigidos a la constatación de aprendizajes en los diferentes países y de gran relevancia política, académica y mediática, como el Informe PISA (siglas correspondientes a su denominación en inglés: *Programme for International Student Assessment*) (OCDE, 2006; OCDE, 2009; OCDE, 2012), así como el de otros informes destinados a evaluar el grado de avance en los diferentes países de la Unión Europea en lo que respecta a la inclusión de las competencias como elemento curricular (Comisión Europea/EA-CEA/Eurydice, 2012).

Este marco estratégico es el resultado de las nuevas demandas contextuales que obligan a concebir la educación como un proceso de carácter amplio y global y que se extiende más allá de una educación entendida, en su sentido más tradicional, como un procedimiento basado meramente en la transmisión y adquisición de conocimientos. De esta forma, hablar de competencias clave es poner el énfasis en la necesidad de ampliar la visión de la educación hacia planteamientos integrados que impliquen, no solo el desarrollo de conocimientos, sino también el de destrezas y actitudes que permitan un adecuado desenvolvimiento del individuo en la sociedad actual y futura (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013a).

La Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente (Parlamento Europeo, 2006) realizó la importante función de concretar las diferentes competencias clave. El resultado fue la distinción de ocho competencias clave, consideradas esenciales para el adecuado crecimiento económico y el bienestar de las sociedades europeas y también se recalcó la importancia de trabajarlas durante todo el periodo de la enseñanza obligatoria. Las competencias clave concretadas fueron las siguientes:

1. Comunicación en la lengua materna.
2. Comunicación en lenguas extranjeras.
3. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
4. Competencia digital.
5. Aprender a aprender.
6. Competencias sociales y cívicas.
7. Sentido de la iniciativa y el espíritu de empresa.
8. Conciencia y expresión culturales.

De esta forma, las competencias quedan estructuradas de tal manera que su puesta en práctica transciende necesariamente a la concepción de una educación basada en meros contenidos teóricos separados en áreas temáticas o materias. Su implantación y desarrollo es un proceso transversal, en el que no existe una relación exclusiva entre materias y determinadas competencias (Franco-Mariscal, Blanco-López, y España-Ramos, 2014; Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013a).

A lo largo de los últimos años ha habido importantes avances en la inclusión de las competencias clave como un componente esencial en la elaboración de la normativa educativa en los diferentes estados de la Unión Europea (Comisión Europea/EACEA/Eurydice, 2012). En el caso de España, su implantación en la legislación educativa se inicia en el marco de la Ley Orgánica de Educación (LOE) (Ministerio de Educación y Ciencia, 2006), mediante las denominadas “Competencias Básicas” (CCBB), transposición terminológica que traería discusiones con respecto a su idoneidad; en este sentido Valle y Manso (2013) afirman que algo “básico” es aquello que se considera mínimo o suficiente para conseguir un fin determinado, mientras que lo “clave” hace referencia a un elemento angular, una “llave maestra” para el desarrollo educativo integral y permanente de las personas. Así, la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013b) recupera la terminología europea y vuelve a la denominación de “competencias clave”, manteniendo el enfoque de un modelo educativo concebido y configurado en torno al desarrollo de competencias. La LOMCE contempla las ocho competencias clave emanadas del Parlamento Europeo y del Consejo, comentadas anteriormente, aunque nominalmente quedan reducidas a siete al unir las competencias de “Comunicación en la lengua materna” y “Comunicación en lenguas extranjeras” bajo la denominación de “Comunicación lingüística” (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015b).

No hay una definición única de competencia, de modo que podemos encontrar diferentes propuestas a lo largo de la extensa bibliografía existente al respecto (Tabla 3.1.), reflejo de que se trata de un concepto complejo y en cierta medida controvertido. Centrándonos en algunas de ellas, podemos encontrar puntos claros de convergencia entre unas y otras, a pesar de sus diferencias. Al ser un concepto complejo y polifacético, una definición puede intentar atender a unos u otros aspectos en función del grado de apertura de ésta; así, el Proyecto de *Definición y Selección de Competencias Clave* (DeSeCo), de la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico* (OCDE),

ofrece una perspectiva abierta, al referirse a competencia como “la capacidad de responder a demandas complejas y llevar a cabo tareas diversas de forma adecuada” (DeSeCo, 2003 citado en Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015*b*. p. 6986.), atendiendo al componente aplicativo y básico de su razón de ser, la adaptación del individuo a las demandas del nuevo contexto de la sociedad del conocimiento, de una forma sintetizada. Por otro lado, la LOMCE presenta una definición más extensa, al referirse a las competencias como las “capacidades para aplicar de forma integrada los contenidos propios de cada enseñanza y etapa educativa, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos” (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015*a*. p. 172.), mostrando una idea similar a la anterior, pero incidiendo en el aspecto de que el desarrollo de las competencias debe promoverse de forma adecuada y durante todo el periodo escolar, así como su naturaleza compleja. Finalmente, destacamos la definición propuesta por Moya y Luengo (2011, citado en Ministerio de Educación, Cultura y Deporte 2013*a*. p. 18.), según la cual la competencia “puede ser definida como un tipo de aprendizaje caracterizado por la forma en la que cualquier persona logra combinar sus múltiples recursos personales (saberes, actitudes, valores, emociones, etc.) para lograr una respuesta satisfactoria a una tarea planteada en un contexto definido”. Esta última definición es bastante completa pues se centra, de una forma muy clarividente, en algunos aspectos esenciales a la hora de entender el cambio que supone una educación fundamentada en competencias; esto es, basada en una pluralidad de recursos y en la forma de combinarlos (conocimientos, actitudes, valores, emociones, etc.) para la resolución de problemas reales (tareas) en las múltiples situaciones en las que el individuo pueda verse involucrado (contextos).

Tabla 3.1. Algunas definiciones de competencias, variables en su grado de concreción.

Selección de definiciones del concepto de “Competencia”	
Definición	Fuente
“Capacidad de responder a demandas complejas y llevar a cabo tareas diversas de forma adecuada”	DeSeCo, (2003 citado en Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015 <i>b</i> . p. 6986.)
“Capacidad para aplicar de forma integrada los contenidos propios de cada enseñanza y etapa educativa, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos”	Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, (2015 <i>a</i> . p. 172.).
“Tipo de aprendizaje caracterizado por la forma en la que cualquier persona logra combinar sus múltiples recursos personales (saberes, actitudes, valores, emociones, etc.) para lograr una respuesta satisfactoria a una tarea planteada en un contexto definido”	Moya y Luengo (2011, citado en Ministerio de Educación, Cultura y Deporte 2013 <i>a</i> . p. 18.)

Por lo tanto, las competencias clave se erigen como un elemento curricular esencial en el planteamiento de cualquier propuesta educativa, en relación a la dimensión que han ido adquiriendo a lo largo de las últimas reformas educativas y a su inclusión en el ámbito normativo de los sistemas educativos de los distintos países de la Unión Europea, en general, y de España, en particular. Una

realidad que impone una acción de formación activa, comprometida y permanente por parte del profesorado, de cara a que pueda realizar un diseño de su acción educativa coherente con el nuevo marco competencial (Couso, 2014; Hortigüela, Pérez y Abella, 2016).

3.1.2. La Competencia Científica

De forma coherente con el sentido del concepto de competencia, la enseñanza para promover la competencia científica implicaría una perspectiva más polifacética, en comparación a la enseñanza de las ciencias tradicional, excesivamente enfocada en la enseñanza-aprendizaje de conceptos e ideas teóricas científicas. Así, el Proyecto PISA (OCDE, 2006) define a la competencia científica de la siguiente manera:

Hace referencia a los conocimientos científicos de un individuo y al uso de ese conocimiento para identificar problemas, adquirir nuevos conocimientos, explicar fenómenos científicos y extraer conclusiones basadas en pruebas sobre cuestiones relacionadas con la ciencia. Asimismo, comporta la comprensión de los rasgos característicos de la ciencia, entendida como un método del conocimiento y la investigación humanas, la percepción del modo en que la ciencia y la tecnología conforman nuestro entorno material, intelectual y cultural, y la disposición a implicarse en asuntos relacionados con la ciencia y con las ideas de la ciencia como un ciudadano reflexivo (p. 13.).

Se trata de una definición amplia y abarcadora, propuesta en relación a uno de los proyectos educativos evaluadores a escala internacional más influyentes y cuyo centro de atención es evaluar la promoción del desarrollo de competencias en el contexto de los sistemas educativos de los diferentes estados. En ella se hace alusión a un componente conceptual, metodológico y actitudinal; por un lado, un componente conceptual en el que se hace referencia a la adquisición de conocimientos teóricos y a su adecuada integración, de tal forma que luego puedan ser aplicados para el análisis de la realidad y crear bases para la adquisición de conocimientos posteriores, así como aspectos básicos de la naturaleza de la ciencia (el entendimiento de los rasgos esenciales que debe cumplir el conocimiento para considerarse científico); por otro lado, un componente metodológico en el que se hace alusión a la involucración del alumnado en el proceso científico, conducente a la elaboración de conclusiones soportadas por pruebas; finalmente, un componente actitudinal, en tanto que se valore positivamente la validez o relevancia del aprendizaje de las ciencias para comprender nuestro entorno social, así como su importancia para la constitución de una ciudadanía crítica y reflexiva.

Por todo esto, el desarrollo y progresión de la competencia científica en el alumnado debe ser el resultado de un proceso continuo y que se extienda a lo largo de la vida escolar (Cañal, 2012a). El enfoque evaluativo del Proyecto PISA y su análisis específico de la competencia científica ha sido ampliamente valorado por diferentes autores, habiéndose manifestado conclusiones u observaciones muy diversas al respecto. Por un lado, algunos defienden el papel que PISA puede representar como instrumento de mejora de la enseñanza de las ciencias, al considerar que ha supuesto un punto de

partida esencial para la orientación de la enseñanza de las ciencias hacia tendencias metodológicas más innovadoras y efectivas, promoviendo y facilitando la consolidación de las mismas (Gil y Vilches, 2006; Vilches y Gil, 2010). Por otro lado, otros cuestionan la adecuación de las pruebas PISA para la evaluación real de la competencia científica, desde quienes destacan aspectos puntuales, como la baja atención a la justificación de las respuestas por parte del alumnado (Crujeiras y Jiménez, 2015), hasta quienes realizan una crítica de mayor profundidad, al entender que PISA adopta un enfoque excesivamente analítico, que muestra una visión atomizada de las competencias, en lugar de ofrecer una perspectiva holística más cercana a un concepto completo de competencia (Yus et al., 2013). Esta última reflexión es especialmente relevante, pues pone el foco de atención en el hecho de que, si bien en el concepto de competencia científica aludimos a una serie de dimensiones en las que podemos desgranar el proceso de alfabetización científica¹, es importante recalcar que el aprendizaje de esta competencia dependerá de la integración de dichas dimensiones y la capacidad de poner en juego sus diferentes componentes en situaciones reales, de cara a la resolución de problemas complejos (Cañal, 2012a; 2012b; Yus et al., 2013).

La enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de la competencia científica en el alumnado es un proceso inherentemente complejo, lo que dificulta la implementación de esta perspectiva en la práctica educativa, requiriendo una atención activa y rigurosa por parte del docente (Couso, 2014). Este hecho es importante, pues hay autores que ponen de relieve la necesidad de generar recursos que permitan ofrecer luces acerca de las implicaciones didácticas del enfoque basado en competencias en la enseñanza de las ciencias. Así, Franco-Mariscal et al. (2014) recalcan la importancia de las evaluaciones PISA en el desarrollo del enfoque por competencias en la didáctica de las ciencias, pero también destacan la inexistencia de orientaciones claras para la enseñanza de la competencia científica en los documentos publicados en el marco de dicho proyecto. Asimismo, se ha puesto de manifiesto las percepciones fragmentarias o contradictorias sobre la competencia científica presente en muchos docentes en activo (Quintanilla et al., 2010), quienes frecuentemente reconocen la existencia de limitaciones diversas para una enseñanza de las ciencias de mayor calidad, acorde a las demandas de la sociedad actual (Banet, 2007); de esta forma, se hace necesario superar los problemas que llevan a la incapacidad de concretar la puesta en práctica de una acción coherente con la enseñanza de la competencia científica en sus diferentes facetas, de cara a que la inclusión de ésta en el currículo no se quede en una mera declaración de intenciones (Banet, 2010).

Por todo lo anterior, se torna especialmente interesante delimitar las diferentes capacidades que, de forma integrada, son requeridas para un adecuado aprendizaje de la competencia científica. En este sentido, seguimos a Cañal (2012a; 2012b) en su identificación de las diferentes dimensiones a desarrollar en el marco conceptual de la competencia científica y las distintas capacidades de las que consta (Figura 3.1.):

¹Posteriormente definiremos brevemente el concepto de alfabetización científica y su estrecha relación con la metodología de enseñanza de las ciencias basada en la indagación, a la que nos adscribimos en la realización de este trabajo.

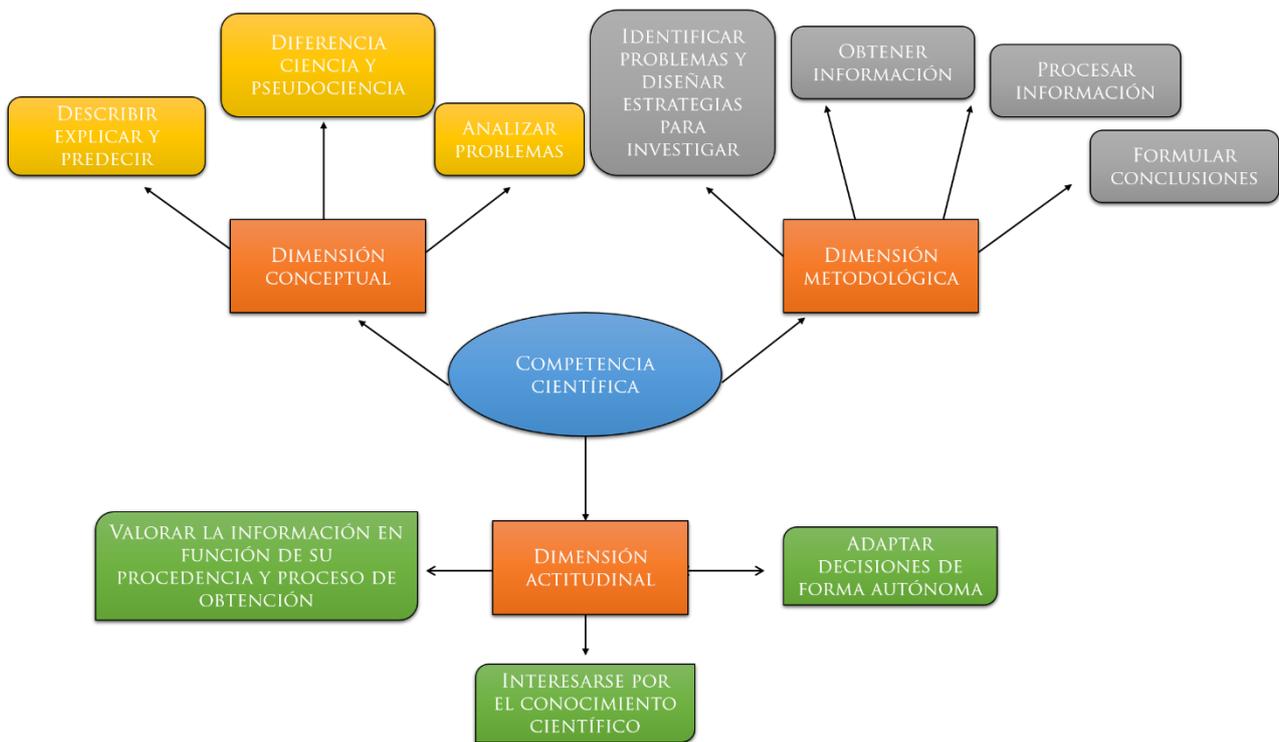


Figura 3.1. Representación esquemática de las dimensiones de la competencia científica y las diferentes capacidades con las que podemos caracterizarlas, según las aportaciones de Cañal (2012a; 2012b).

1. Dimensión conceptual.

- Capacidad de utilizar el conocimiento científico personal para describir, explicar y predecir fenómenos naturales.

Directamente relacionada con la calidad de los aprendizajes básicos, es decir, la comprensión de las diferentes ideas o conocimientos científicos básicos, implica saber relacionarlos entre sí, así como usarlos para describir, explicar o predecir fenómenos naturales. El desarrollo de esta capacidad dependerá, por tanto, del grado de relevancia de los aprendizajes básicos (posibilidad de contextualizarlos e introducirlos mediante la reordenación de esquemas interpretativos anteriores), el nivel de integración de éstos (grado de interrelación con otros conocimientos del alumnado), así como su funcionalidad (validez para utilizarlos en otros contextos o situaciones).

- Capacidad de utilizar los conceptos o modelos científicos para analizar problemas.

Está relacionada con las posibilidades de usar los conceptos o modelos científicos asimilados para percibir y analizar posibles situaciones reales. Implica contextos de reflexión para la formulación de hipótesis acerca de las causas de lo observado, posibles explicaciones, así como formas de actuación para solucionarlo.

- Capacidad de diferenciar la ciencia de otras interpretaciones no científicas de la realidad.

Está relacionada con la adquisición de capacidad crítica, en torno a la comprensión de contenidos en naturaleza de la ciencia, y fundamentada en para qué, con qué fundamento y cómo se elabora el conocimiento científico. Implica la comprensión del sentido que tiene el conocimiento científico para nuestra sociedad, el entendimiento del propio proceso de elaboración del saber científico, la capacidad de detectar las características genuinas del conocimiento científico, que lo distinguen de otros tipos de conocimientos no científicos, así como la capacidad de distinguir la fiabilidad de las diferentes fuentes de información que podemos encontrar a nuestra disposición.

2. Dimensión metodológica.

- Capacidad de identificar problemas científicos y diseñar estrategias para su investigación.

Implica a la capacidad de identificar aspectos problemáticos abordables desde la ciencia, la formulación de hipótesis fundamentadas o explicaciones posibles para su resolución (siempre fundamentadas sobre bases claras y explícitas) y el diseño de planes para su investigación.

- Capacidad de obtener información relevante para la investigación.

Referida al desarrollo de criterios y procedimientos útiles para la valoración efectiva de fuentes de información fiables, así como para la síntesis y concreción de la información que verdaderamente sea relevante y valiosa para nuestros intereses.

- Capacidad de procesar la información obtenida.

Referida a diferentes tipos de procedimientos relacionados con la organización, interpretación, justificación y representación de la información obtenida (resumir, comparar, clasificar, cuantificar, debatir, argumentar, realizar tablas/gráficos, etc.)

- Capacidad de formular conclusiones fundamentadas.

Referida a la capacidad de formular conclusiones de forma coherentemente contextualizada con los problemas investigados, objetivos planteados, hipótesis formuladas e información recabada y analizada acerca del tema tratado.

3. Dimensión actitudinal.

- Capacidad de valorar la calidad de una información en función de su procedencia y de los procedimientos utilizados para generarla.

Referida al desarrollo de aptitudes para la valoración positiva de aquellas informaciones procedentes de fuentes y procedimientos científicamente fiables y, por el contrario, ser críticos con aquellas que no reúnan esos requisitos.

- Capacidad de interesarse por el conocimiento, indagación y resolución de problemas científicos y problemáticas socio-ambientales.

Relacionada con el desarrollo de actitudes positivas y auto-identificativas con el papel de la ciencia como herramienta para la construcción de opiniones, fundamentación de juicios y para una mejor comprensión de los contextos socio-científicos actuales.

- Capacidad de adoptar decisiones autónomas y críticas en contextos personales y sociales.

Relacionada con la capacidad de conjugar los conocimientos y procedimientos científicos adquiridos con otros de distinta naturaleza, para la realización de valoraciones personales y la adquisición de autonomía en sus decisiones.

4. Dimensión integrada.

- Capacidad de utilizar en forma integrada las anteriores capacidades para dar respuestas o pautas de actuación adecuadas ante problemas concretos científicos, tecnológicos o socio-ambientales, en contextos vivenciales del alumnado.

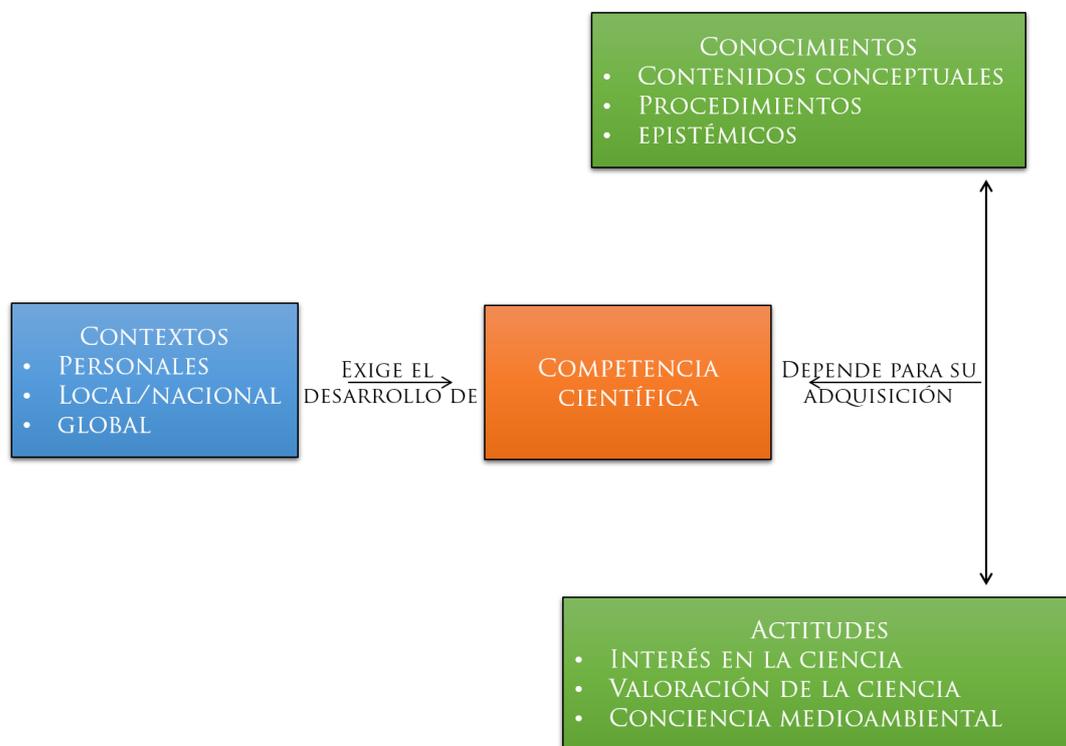


Figura 3.2. Representación esquemática del desarrollo conceptual de la competencia científica en el marco teórico de la evaluación PISA 2015 (Adaptado de "PISA 2015 Draft Science Framework", por OECD, 2013, p.12.).

Referida a la puesta en juego de las anteriores capacidades de forma integrada, de cara a la resolución de problemas reales y cercanos. Su inclusión responde a la necesidad de concebir la competencia científica como un todo integrado y no como el mero resultado de una suma de capacidades absolutamente diferenciadas. Asimismo, su desarrollo implica la adquisición de capacidad crítica para el análisis de las implicaciones éticas, sociales, económicas y políticas que tiene el desarrollo científico en los contextos actuales (controversias sociocientíficas). Su desarrollo depende de la calidad y efectividad de la enseñanza en ciencias recibida a lo largo de la vida escolar del alumnado, en el sentido de haber implicado a las diferentes capacidades mencionadas de forma conjunta e integrada.

Este desarrollo conceptual de la competencia científica es coherente con el marco teórico de la evaluación PISA para el año 2015, aún en estado de borrador (OECD, 2013), donde podríamos integrar las dimensiones conceptual y metodológica en lo que PISA denomina “Conocimientos de contenidos, procedimentales y epistémicos”, así como la dimensión actitudinal en lo que denomina “Actitudes de interés en la ciencia, valoración del enfoque científico investigativo y conciencia sobre el medio ambiente” (Figura 3.2.).

3.2. Enseñanza de las ciencias basada en la indagación.

La visión de la ciencia ofrecida a través de los procesos de enseñanza-aprendizaje en el ámbito escolar, de manera más habitual, ha tenido un claro sesgo hacia un enfoque mayoritariamente descriptivo y conceptual; el énfasis ha sido depositado en la narración de grandes hechos, conceptos y explicitación de leyes y teorías como productos finales del proceso científico. Un proceso basado en la introducción de razonamientos de corte deductivo, sostenidos por las premisas derivadas a partir de los contenidos teóricos aportados, obviándose toda la dimensión relacionada con la adquisición de habilidades, capacidad explicativa, argumentativa, predictiva y de crítica, necesarias para una adecuada comprensión de cómo funciona la metodología científica y cómo se construye el conocimiento científico. Esta visión reduccionista se encuentra ampliamente extendida en la sociedad incluido el colectivo docente, cuyos profesionales tienden a conectar los contenidos científicos a los intereses del alumnado de una forma meramente instrumental, con la única finalidad de que comprendan mejor dichos contenidos en el plano teórico (Martínez-Chico, 2013).

Este análisis pone el acento en la necesidad de desarrollar metodologías de enseñanza-aprendizaje que tomen en consideración la importancia de introducir contenidos científicos centrados en una perspectiva aplicada, en la que el alumnado se vea envuelto en una situación de emulación del procedimiento científico (establecimiento de hipótesis, búsqueda de pruebas, procesos de razonamiento, argumentación, contrastes de explicaciones, etc.) y en el que la ciencia sea empleada, directamente, en la generación de conocimiento. Sin embargo, la implementación de metodologías fundamentadas en la necesidad de superar un tratamiento exclusivamente teórico de la ciencia se ha realizado, en muchas ocasiones, desde una perspectiva excesivamente superficial. Esto ha hecho que, lejos de complementarse con la enseñanza de contenidos teóricos, se haya considerado como un proceso excepcional y enfocado al desarrollo de habilidades manipulativas dirigidas e indebidamente contextualizadas y, por lo tanto, con poca calidad desde el punto de vista de la educación científica (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008). Una enseñanza científica de calidad debe poner en común aspectos teóricos, fundamentales en ciencia, y el desarrollo de habilidades y formas de pensar coherentes con el procedimiento científico (Windschitl et al., 2008; Couso, 2014).

Todo este planteamiento entronca, de forma coherente, con la demanda que, desde diferentes voces especializadas, se hace sobre la necesidad de promover la alfabetización científica. Esto implica la apropiación de conocimientos, desarrollo de actitudes y adquisición de habilidades con respecto a los principios epistemológicos de la ciencia actual, de tal forma que se promueve una comprensión más lúcida de las realidades de nuestra sociedad en el contexto científico-tecnológico (Sauvé, 2010). El desarrollo de esta capacidad de análisis implica una formación del individuo en ciencia, de forma amplia y versátil, que no solo atienda a la comprensión de contenidos teóricos, sino también al desarrollo de habilidades cognitivas, interpretativas y explicativas que permitan dar sentido a su realidad circundante, como hipotetizar, fundamentar, argumentar, anticipar puntos de vista alternativos, justificar, manejar datos o información, etc. (Larrain, 2009).

El marco ofrecido por la enseñanza basada en la indagación (“IBSE”, siglas correspondientes a su denominación en inglés: *Inquiry Based Science Education*) responde al conjunto de necesidades planteadas anteriormente, al pretender conjuntar la introducción del alumnado en el conocimiento teórico de las ciencias y en los procesos que toman parte en ella, permitiendo que vivan experiencias y adquieran habilidades, emulando las situaciones en las que se desarrolla la actividad científica (FIBONACCI, 2012; Minner, Levy y Century, 2012). Asimismo, la enseñanza basada en la indagación, además de una reconceptualización de lo que significa “enseñar ciencias”, implica un enfoque de enseñanza particular, una forma de organizar el proceso de enseñanza-aprendizaje que favorezca tanto el desarrollo fructífero de las clases por parte del docente, como el aprendizaje por parte del alumnado (FIBONACCI, 2012; Martínez-Chico, 2013), algo que, en contra de la concepción de algunos docentes, es aplicable a todo tipo de alumnado, desde los estudiantes con altas capacidades hasta aquellos especialmente vulnerables al fracaso escolar o que hayan requerido adaptaciones por necesidades especiales (Martínez y Bárcena, 2013; Pavón y Martínez, 2014). Sin embargo, en los últimos tiempos se ha ido ampliando el número de propuestas de enseñanza-aprendizaje basadas en el empleo de la investigación científica en el contexto escolar, lo que ha hecho que la denominación IBSE se haya extendido a multitud de propuestas muy diferentes y con la noción vaga de investigación o indagación científica en el aula como único aspecto en común. Esta interpretación variable de la enseñanza por indagación ha dado lugar a importantes confusiones y diferentes interpretaciones acerca de su adaptación y puesta en práctica en el contexto escolar (Barrow, 2006; Couso, 2014; Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012).

Uno de los esquemas modelo del proceso indagativo lo podemos encontrar en Worth, Duque y Saltiel (2009 citado en Martínez-Chico, 2013), como parte del contenido de los documentos del proyecto europeo *Pollen*, desarrollado desde 2006 hasta 2009 y que Martínez-Chico (2013) adapta a través de la explicitación de seis procesos clave a desarrollar durante la indagación (Figura 3.3.) : cooperar, discutir, debatir, intercambiar/compartir, reflexionar y registrar.

Asimismo, en este mismo proyecto se establecieron los siguientes principios, como guía para la adecuada puesta en práctica de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (Worth et al., 2009 citado en Martínez-Chico, 2013):

- El alumnado debe tener experiencia directa con los fenómenos, procesos o conceptos que está trabajando. La experiencia favorece una mejor construcción mental del objeto de estudio, siendo insuficiente el lenguaje como único medio.
- El alumnado debe aprender a asumir como propio el problema a estudiar. Es esencial que comprendan adecuadamente las preguntas o problemas planteados.

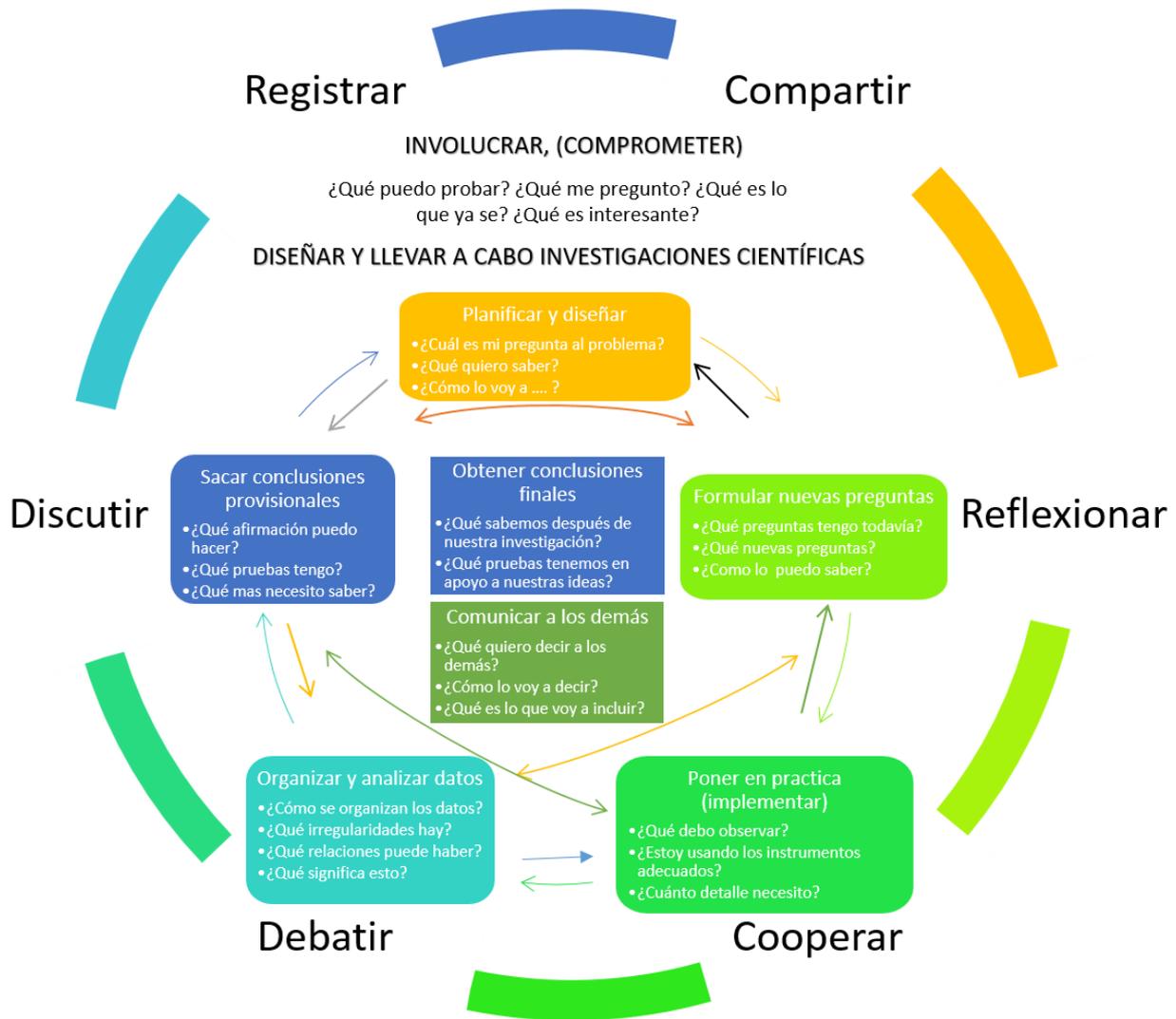


Figura 3.3. Representación esquemática de las características metodológicas de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación. En ella se diferencian seis procesos clave a desarrollar en cualquier propuesta de indagación. (Adaptado de “Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza”, por M. Martínez-Chico, 2013, p. 40.)

- El alumnado debe desarrollar destrezas indagativas: realizar observaciones, formular preguntas o hipótesis, hacer predicciones basadas en modelos explicativos, diseñar investigaciones para contrastar sus modelos, analizar los datos obtenidos y explicar sus conclusiones fundamentándose en las pruebas disponibles.
- El alumnado no debe limitarse a la acción práctica manipulativa. El razonamiento, compartir ideas, contrastar concepciones propias, argumentación y explicación deben ocupar un papel esencial en el proceso indagativo.
- El alumnado no debe ceñirse a procesos de investigación científica como único método de aprendizaje. Es necesario compaginar la indagación con el uso de otras fuentes de información, igualmente importantes a la hora de emular la metodología científica.

- El alumnado debe trabajar en colectivo, ya sea en pequeños o grandes grupos de colaboración. De esta forma se promueven dinámicas consustanciales a la práctica científica, como es el trabajo colectivo y sus consecuencias asociadas (compartir ideas, debatir sobre qué hacer y cómo hacerlo, etc.).

Por otro lado, el NRC (1990 citado en Martínez-Chico, 2013) explica los denominados componentes básicos de IBSE, desde la perspectiva del alumnado. Martínez-Chico (2012 citado en Martínez-Chico, 2013) elabora, tomando como referencia dichos componentes básicos, una enumeración del tipo de actividades que deben poner en práctica los estudiantes durante el proceso indagativo:

1. Enfrentarse a problemas o cuestiones de carácter científico, que el alumnado debe identificar como tales, es decir, que puedan ser puestas a prueba para su confirmación o rechazo mediante pruebas y que se base en fenómenos del mundo natural o tecnológico más amplios. Estas preguntas pueden ser de diferentes tipos en cuanto a su concreción (abierta/cerrada) o emisor (docente/alumnado), pero siempre debe conectarse con la realidad, de tal forma que puedan ser percibidas como preguntas con sentido; esto último puede requerir la obtención de información previa a la formulación de la pregunta, a través de diferentes métodos (observación, búsqueda de información, discusión, etc.).
2. Emitir explicaciones propias justificadas en su experiencia, información recibida y conocimientos, de tal forma que expliciten y sean conscientes de cuáles son sus premisas, a veces ideas previas no coherentes con el conocimiento científico, con precisión. Esas explicaciones pueden tomar la forma de hipótesis o modelos, según el grado de elaboración de su razonamiento. Se considera un punto esencial en el proceso, ya que en él se da lugar a la expresión y discusión de concepciones alternativas, además de que aportan las ideas o modelos de referencia sobre las que fundamentar la indagación, de cara a que el proceso no se limite a un conjunto de actividades manipulativas, sin capacidad de alterar las concepciones previas del alumnado. Es recomendable que estas referencias iniciales se constituyan a través de la explicitación de modelos, de cara a ofrecer una visión más realista y productiva de lo que supone la acción científica (Couso, 2014; Windschitl et al., 2008).
3. Buscar pruebas para contrastar (confirmar o refutar) el modelo o explicación inicial. Los datos utilizados pueden provenir de experimentos propios, observaciones de sistematización diversa, a partir de otras fuentes de información o incluso de conocimientos ya afianzados. Es muy importante enfatizar el aspecto de que las explicaciones resultantes estén basadas en las pruebas de forma fehaciente y que, por lo tanto, tienen un valor mucho mayor que aquellas explicaciones que pudieran derivarse de otros procedimientos (creencias u opiniones no fundamentadas).

4. Analizar los datos obtenidos e interpretar la información, comprobando su adecuación al modelo o explicación previa a la luz de éstos; de esta forma se refuerza o se rechaza el modelo (o parte de él) y el alumnado puede dar respuestas a las cuestiones iniciales. Esta fase de la indagación es especialmente significativa, pues aporta el componente interpretativo del proceso científico; es decir, es un momento relevante en el que se debe producir una conexión entre la teoría y la realidad perceptible. En este punto se pone de manifiesto también que el constructo cognitivo obtenido es de naturaleza provisional, modificable si se dan condiciones de refutación futuras (nuevas pruebas o reformulaciones del modelo subyacente sobre el que se sostiene la interpretación).
5. Comunicar y compartir ideas entre los participantes, favoreciéndose el contraste entre las explicaciones alternativas y propias. Es muy importante la existencia de situaciones de intercambio de opiniones y articulación del lenguaje como medio para construir significados desde perspectivas científicas, pues supone una parte esencial del proceso científico, lo que Zemba-Saul (2008 citado en Martínez-Chico, 2013) denomina incorporar las prácticas sociales de la ciencia a las normas del aula. Es en esta fase comunicativa donde se someten a crítica las conclusiones alcanzadas, en función de las diferentes explicaciones que se puedan haber aportado (desde otros compañeros o del propio docente).

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas, no existe una forma única de aplicar la metodología IBSE, de tal forma que se han ideado diferentes formas de ponerla en práctica, variables en función del papel que toman alumnado y docente a lo largo del proceso. En este sentido, generalmente se distinguen cuatro tipos principales de indagación (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012; Sadeh y Zion, 2012):

- Indagación estructurada.

Es la modalidad en la que el docente ejerce un papel de dirección más marcado, mientras que el alumnado se limita a seguir los pasos marcados por éste (relacionado con el típico método basado en el “guión de prácticas”). Debido al poco protagonismo que adquieren los estudiantes, sería bastante difícil considerarla coherente con el marco IBSE.

- Indagación guiada.

En este caso, el docente es el encargado de seleccionar y plantear la pregunta de investigación, así como de apoyar al alumnado en el proceso de resolución de ésta. Este soporte se basa en el aporte de recursos que sirven de apoyo en la conducción del proceso.

- Indagación abierta.

El docente deja en manos del alumnado la elección de la pregunta de investigación, así como el diseño

del protocolo a seguir para intentar alcanzar una respuesta satisfactoria y la comunicación de los resultados obtenidos.

- Indagación acoplada.

Se considera una combinación de la indagación guiada y abierta. El docente se encarga de seleccionar la pregunta de investigación, pero es el alumnado el que continúa el proceso, en búsqueda de soluciones.

Por todo lo anterior, uno de los aspectos que más directamente se ha asociado a la implantación de la enseñanza de las ciencias por indagación, tanto por parte de profesionales docentes como en la comunidad investigadora, así como se ha visto reflejado en los principales informes institucionales que promueven la metodología indagativa, es la importancia que toman los procesos de diseño de investigaciones científico-escolares. Este énfasis en el carácter investigativo de la didáctica de las ciencias ha sido cada vez más reconocido y explicitado, algo que se ha visto reflejado en el marco del proyecto *PISA*. Si bien las subcompetencias que *PISA* diferenciaba para la consecución de la alfabetización científica incluían la evaluación de operaciones relacionadas con el diseño de investigaciones, las denominaciones de éstas no recalcan dicho aspecto; así, se incluían operaciones de este tipo en la evaluación de la subcompetencia “Identificación de cuestiones científicas” (OCDE, 2008), que posteriormente pasaría a denominarse “Evaluación y diseño de investigaciones científicas” (OECD, 2013), reflejando de forma más clara la importancia de emular procesos investigativos para el desarrollo de la competencia científica.

Sin embargo, a pesar de que podemos aunar un conjunto de principios y elementos que, generalmente, deben contener las actividades que incorporemos a una propuesta de enseñanza de las ciencias basada en la indagación para que ésta sea de calidad, en muchas ocasiones se han elaborado propuestas educativas excesivamente reduccionistas con la denominación IBSE. En éstas se ha puesto el énfasis en la acción práctica manipulativa, obviando la necesaria complementación con actividades que impliquen el ejercicio cognitivo de integración de la teoría con los resultados obtenidos en la práctica, promoviéndose una enseñanza de las ciencias epistemológicamente pobre y de corte empiricista, en la que las conclusiones no están condicionadas por un marco de referencia fuerte (modelo, por ejemplo) (Couso, 2014; Windschitl et al., 2008). Una crítica amplia y lúcida de gran parte de las propuestas de enseñanza basada en la indagación publicadas durante los últimos años es la que realiza Couso (2014), quien diferencia y explica cuatro tipos principales de deficiencias que han podido achacarse a ellas:

1. Reducir la clase de ciencias a enseñar a indagar.

En muchos ejemplos de propuestas de indagación se muestran situaciones de resolución de problemas ajenos a los contenidos teóricos relevantes en ciencia, dando la sensación de que lo único importante es el desarrollo de habilidades indagativas, entendidas como capacidad de apropiarse de una pregunta

y realizar una serie de procedimientos para intentar resolverla a partir de la experiencia inmediata, sin tener en cuenta modelos o teorías que sirvan como referencia. De esta forma, se trata de actividades con un contenido epistemológicamente incongruente (generalmente empiricistas) con las concepciones contemporáneas de la naturaleza de la ciencia. Asimismo, estas propuestas tienden a obviar el contexto científico a la hora de situar el marco indagativo, así como no tienen en cuenta que la indagación debe promover destrezas cognitivas y discursivas, a la hora de intentar emular el procedimiento científico en su conjunto.

2. Evaluar la efectividad de IBSE tomando como referencia la motivación o actividad del alumnado.

En muchas de las propuestas IBSE disponibles se incide, a la hora de evaluarlas, excesivamente sobre la idea de que el alumnado mostraba un mayor interés y grado de implicación activa durante el proceso. Sin menospreciar el papel de la motivación, sin embargo, es necesario ser crítico e intentar diferenciar aquellas posibles situaciones en las que exista una implicación intelectual activa, de las que solo se produzca una implicación físicamente activa. Para ello, sería importante considerar criterios evaluativos fundamentados en la ganancia de conocimientos y comprensión de la acción científica.

3. Desatender o menospreciar el papel del docente durante el proceso.

En muchas propuestas IBSE subyace la concepción de que el docente debe implicarse poco, como una tergiversación del consenso existente en torno a que el docente debe hacer una enseñanza centrada en el alumnado. La metáfora de “facilitador” o “guía” tiende a dar una idea del docente como un actor que simplemente aporta recursos y ofrece una mínima guía, sin resaltar la gran importancia que debería tener en la dirección de la actividad física y cognitivo-discursiva del proceso.

4. Desconexión con el mundo de las ideas, teoría y conocimiento científico.

Esta crítica puede considerarse como una consecuencia de las tres anteriores. Hace referencia al excesivo predominio de la dimensión procedimental y empírica en muchas de las propuestas IBSE publicadas. En ellas se desatiende la dimensión conceptual y teórica y, por lo tanto, no se toma en consideración el trabajo cognitivo subyacente a todo proceso de construcción de conocimiento mediante la ciencia, el cual no puede limitarse a sacar conclusiones a partir de la evidencia experimental inmediata. Esta crítica es de un gran alcance, puesto que si bien no se opone a la metodología IBSE, sí que implica una inversión del proceso habitualmente utilizado en muchas propuestas. Es decir, la indagación no es utilizada para construir teorías o modelos conceptuales científicos que supuestamente se induzcan inequívocamente de los resultados observados en el proceso indagativo; más bien es concebida como un medio para profundizar en dichas teorías o modelos, que, una vez explicitados, se convierten en guías del proceso indagativo, funcionando como referencia epistemológica.

A la luz de aportaciones como las comentadas, han surgido diferentes enfoques de indagación que inciden en la necesidad de resolver los problemas explicados en muchas de las propuestas. Un ejemplo es el enfoque de la “indagación orientada a argumentar” (“ADI”, siglas correspondientes a su denominación en inglés: *Argument-Driven Inquiry*), el cual atiende al papel central del discurso en la negociación del significado en la interpretación de la información (Zemba-Saul, 2009). Por otro lado, el enfoque de la “indagación basada en modelos” (“MBI”: *Model-Based Inquiry*) está adquiriendo especial notoriedad en los últimos años; su fundamento principal es que, partiendo de la premisa de que un proceso indagativo debe servir para desarrollar explicaciones coherentes con el funcionamiento del mundo natural, es importante usar modelos teóricos explicativos como marco de referencia para la observación de los fenómenos o procesos a trabajar. De esta forma se incentiva la generación de hipótesis coherentes y los datos pueden ser interpretados en función de su adaptación al modelo explicitado (Couso, 2014; Windschitl et al., 2008).

Por lo tanto, en relación a lo visto anteriormente y a pesar del amplio apoyo recibido por instituciones e informes internacionales, la enseñanza de las ciencias basada en la indagación también ha sido duramente criticada por algunos autores, quienes aseguran que no pueden atribuirse mejores resultados a las estrategias IBSE (Cobern et al., 2010; Kirschner, Sweller y Clark, 2006). No obstante, existen otros trabajos que sí aportan resultados positivos en relación a la implementación de propuestas enmarcadas en IBSE (Hmelo-Silver, Duncan y Chin, 2007; Minner et al., 2010). En cualquier caso, las diferentes propuestas IBSE publicadas son difícilmente comparables entre sí, pues difieren mucho en diferentes aspectos (Brown et al., 2006 citado en Couso, 2014). Por lo tanto, consideramos que la estrategia IBSE tiene la potencialidad de responder satisfactoriamente al consenso generalizado, en el campo de la didáctica de las ciencias, acerca de la importancia de introducir una dimensión de involucramiento positivo del alumnado en la enseñanza de las ciencias; ahora bien, ésta debe estar guiada coherentemente por la complementación entre el desarrollo de habilidades o destrezas indagativas y la construcción de razonamientos, explicaciones y argumentaciones que contribuyan a un auténtico proceso de “pensar científicamente”.

3.3. La importancia de las ideas previas o concepciones alternativas para un aprendizaje significativo.

Desde el punto de vista de una educación transmisiva, por otra parte, preponderante, y en relación con lo que hemos comentado en los apartados anteriores, la enseñanza ha sido considerada como un proceso lineal, en el que el docente debía aportar conocimientos de la forma más clara posible para así poder transmitirlos al sujeto de aprendizaje. De esta forma, la adquisición de conocimientos se concebía como un proceso meramente transpositivo, en el que los conceptos teóricos eran depositados, por parte del docente, en la mente del alumnado. La validez de estos modelos más tradicionales, genéricamente aunados bajo la denominación de “transmisión-recepción”, desde la psicología, la pedagogía, en general, y la didáctica de las ciencias, en particular, ha sido puesta en duda a lo largo de las últimas décadas por la comunidad investigadora y uno de los aspectos en los que se han visto reflejados estos cambios en los modelos de enseñanza-aprendizaje es en la atribución de una gran relevancia a las denominadas como ideas previas o concepciones alternativas del alumnado (Campanario y Otero, 2000).

Las concepciones alternativas del alumnado comenzaron a ser investigadas durante la década de 1970 y son muchas las investigaciones realizadas en torno a su identificación en las diferentes áreas de las ciencias (Bello, 2004). Estas concepciones alternativas se corresponden con las ideas que presenta el alumnado en relación a un fenómeno o hecho determinado, las cuales suelen ser inconsistentes con los modelos científicos que explican dichos fenómenos. Asimismo, se trata de ideas que se encuentran fuertemente arraigadas cognitivamente en el alumnado y, por lo tanto, presentan una fuerte resistencia al cambio; es por ello que son difíciles de modificar, más aún si, lejos de tener en cuenta la naturaleza de dichas concepciones, nos limitamos a calificarlas como incorrectas y planteamos su sustitución por otras, más acordes al conocimiento científico de referencia, con un simple comentario (Campbell, Schwarz, y Windschitl, 2016). Las concepciones alternativas reúnen una serie de características que pueden ser aplicables a muchos de los casos en los que se hayan investigado, en diferentes contextos; se trata de explicaciones personales, es decir, derivadas de la propia experiencia del alumnado e interacción con su entorno inmediato, así como suelen presentar patrones universales en muchos casos, es decir, suelen existir concepciones alternativas similares muy extendidas en diferentes campos temáticos (Bello y Valdez, 2002 citado en Bello, 2004).

Son muchas las propuestas realizadas en relación al origen de las concepciones alternativas o ideas previas. Por un lado, en algunos casos responden a esquemas conceptuales de gran arraigo cultural, es decir, ampliamente extendidos en nuestra sociedad. Por otro lado, también tiene gran importancia la experiencia directa del propio individuo en su vida cotidiana en la construcción de estas concepciones, así como la articulación poco precisa del lenguaje como medio de comunicación entre las personas. Finalmente, se destaca la importancia de la propia actividad docente, que en muchos casos se vale de analogías o informaciones indebidamente planteadas y que promueven el desarrollo y afianzamiento de diferentes tipos de ideas previas (Campanario y Otero, 2000).

El hecho de que las concepciones alternativas suelen ser inconsistentes desde el punto de vista científico es algo razonable, puesto que la construcción del conocimiento científico va ligada a un ejercicio de abstracción muy elevado y que, en numerosas ocasiones, contradice al sentido común (Campanario y Otero, 2000). Además, las concepciones alternativas no suelen presentarse de forma aislada, sino que a veces se relacionan con la existencia de modelos conceptuales más amplios (conocidos como “esquemas representacionales”), que son integrados por el alumnado y que le sirven para explicar la realidad, aportando cierta coherencia a su interpretación. Todo esto hace que tiendan a manifestarse barreras epistemológicas que dificultan el cambio de dichos modelos conceptuales previos; de esta forma, ante una situación de contradicción entre éstos y la información aportada por el docente, el alumnado tiende a ignorar o rechazar dicha información o a reinterpretarla e integrarla en sus propios esquemas representacionales (Bello, 2004). En otros casos, la resistencia al cambio se manifiesta en la adopción, por parte del alumnado, de dos esquemas representacionales diferenciados; por un lado, aquellos que les resultan útiles en el medio escolar para superar los procesos evaluadores a los que tiene que hacer frente y, por otro lado, los modelos iniciales que le sirven para explicar la realidad circundante y que son los que verdaderamente aplican a la hora de interactuar con su entorno (Campanario y Otero, 2000; Caravita y Halldén, 1994).

Por lo tanto, a lo largo de las últimas décadas se ha ido cambiando la percepción de la comunidad educativa, en relación a las concepciones alternativas, resaltando la importancia de tenerlas en cuenta a la hora de diseñar cualquier tipo de intervención educativa. En este sentido, las ideas previas ocupan un papel central en la didáctica de las ciencias, consideradas como un punto de referencia necesario sobre el que asentar la construcción del conocimiento (Campbell et al., 2016; Driver, 1989). Generalmente, los enfoques de enseñanza adoptados, acorde a los conocimientos actuales en relación a la importancia de las concepciones alternativas, son aquellos basados en el cambio conceptual y que se implican en la transformación de los esquemas representacionales del alumnado en modelos coherentes con la ciencia (Bello, 2004). El procedimiento habitual implica la explicitación de las concepciones alternativas del alumnado y la búsqueda del conflicto cognitivo por parte del docente, de cara a crear las condiciones adecuadas para favorecer el cambio conceptual hacia modelos científicos (López-Gay, 2012; Mason, 2007 citado en Fernández y Sanjosé, 2013). En este sentido, se trata de crear contextos de explicación de la realidad, tomando como referencia inicial las concepciones alternativas del alumnado, comparándolas entre sí, poniéndolas a prueba y comprobando su validez de diferentes formas (argumentando desde las concepciones propias, construyendo explicaciones derivadas de las evidencias o revisando los modelos iniciales a la luz de las pruebas); partiendo de esto, se busca promover la reconstrucción de modelos mentales coherentes con los modelos científicos de referencia (Campbell et al., 2016).

Según Strike y Posner (1985 citado en Bello, 2004), las condiciones que favorecen que el cambio conceptual se produzca son:

- Insatisfacción del estudiante con sus modelos iniciales o esquemas representacionales.

- Las nuevas concepciones deben ser manifestadas de forma clara y comprensible.
- Las nuevas concepciones deben ser mostradas de una forma plausible, superando aquellos aspectos que puedan considerarse no intuitivos.
- Las nuevas concepciones deben ser fructíferas, es decir, aplicables a nuevos contextos.

Sin embargo, son muchos los modelos desarrollados en torno al enfoque del cambio conceptual, desde aquellos que defienden la transformación completa de los modelos previos en modelos científicos (Strike y Posner, 1985 citado por Bello, 2004) hasta otras que defienden la importancia de que la modificación de los esquemas representacionales se haga de forma gradual, sosteniéndose en diferentes etapas y aceptando provisionalmente modelos parcialmente correctos (Campbell et al., 2016). En este último caso, se recomienda tener precaución a la hora de intentar corregir las concepciones alternativas de forma excesivamente drástica, pues las alteraciones elevadas de los esquemas representacionales del alumnado pueden ir ligadas a la falta de comprensión y, por lo tanto, de aceptación, de las nuevas ideas. Por ello, resulta importante emplear estrategias didácticas en las que se promueva que los estudiantes razonen y adquieran conclusiones con diferente grado de validez, según el contexto, otorgando sentido a nuevas situaciones a medida que sea posible incorporar nuevos elementos a los modelos mentales en activa reconstrucción del alumnado. Desde este punto de vista, los conocimientos parcialmente correctos o el uso de ideas no convencionales pueden ser aceptadas como condición necesaria, a la espera de promover nuevas reestructuraciones futuras en los modelos mentales del alumnado (Campbell et al., 2016).

Como hemos comentado, las concepciones alternativas adquieren una importancia capital en la enseñanza de las ciencias, en tanto que resulta imprescindible conocer cuáles son los esquemas representacionales del alumnado para poder crear las condiciones adecuadas para su reestructuración o transformación en modelos coherentes con la perspectiva científica. Sin embargo, existen otros enfoques desde los que las ideas previas ocupan un papel muy importante, al margen de la utilidad para el cambio conceptual; en este sentido, la enseñanza de las ciencias basada en la indagación nos ofrece un marco notablemente diferente para el uso de las concepciones alternativas. En este caso, la explicitación de las ideas previas no se hacen en relación al interés del docente por conocer los modelos iniciales del alumnado con respecto a un contenido teórico, sino en función de las hipótesis que resulten necesarias para resolver la situación problemática que involucra el método indagativo (López-Gay, 2012). Además, la explicitación de las concepciones alternativas en el proceso indagativo tiene un sentido funcional, pues implica la puesta en juego de explicaciones personales con sentido para su discusión y contrastación, en lo que resulta ser un paso esencial en la emulación del proceso científico (Martínez-Chico, 2013).

Finalmente, en vistas al diseño de nuestra propuesta didáctica, hemos realizado una revisión bibliográfica en relación a tres conceptos o modelos conceptuales de referencia, tanto para la contex-

tualización de nuestra propia propuesta como para alguno de los contenidos curriculares correspondientes al curso al que irá destinada la propuesta, 4º de Educación Secundaria Obligatoria. Estos conceptos son:

- Fósil/Fosilización.
- Tiempo geológico.
- Evolución/Cambio biológico.

3.3.1. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre el concepto “fósil” y el proceso de “fosilización”.

Las concepciones alternativas en relación al concepto de fósil y el proceso de fosilización no han sido estudiadas al nivel de otros conceptos o modelos conceptuales, tanto del campo de las Ciencias de la Tierra como de otras disciplinas científicas. Sin embargo, en aquellos casos en los que se ha investigado, se han registrado resultados muy llamativos y que nos arrojan luz en relación a la gran diversidad de interpretaciones o esquemas representacionales que presenta el alumnado de secundaria sobre lo que es un “fósil” y cómo éste se forma.

Lillo (1994, 1995) ha realizado interesantes aportaciones sobre las concepciones alternativas de los estudiantes de Educación Secundaria sobre los fósiles y el proceso de fosilización, así como nos da algunas indicaciones básicas en relación a aquellos procesos que nunca deben desligarse del significado de fósil, de cara a promover una comprensión de dicho concepto más acorde al modelo conceptual científico de referencia.

En primer lugar, Lillo (1995) identifica toda una gama de concepciones alternativas en relación al concepto de fósil y, de forma ligada, al proceso de fosilización en Educación Primaria, Secundaria, Bachillerato y Universidad. Estas ideas previas son las siguientes:

1. Fósil como cualquier resto duro procedente de un organismo (huesos o conchas).
2. Fósil como cualquier resto orgánico endurecido tras sufrir un proceso de petrificación (o “esqueletización”).
3. Fósil como cualquier resto duro enterrado.
4. Fósil como impresión dejada por un organismo sobre una roca tras haberse pegado fuertemente a ésta durante mucho tiempo.
5. Fósil como cualquier huella mantenida en el tiempo.
6. Fósil como resto de organismo que quedó incluido en lava.
7. Fósil como resto orgánico enterrado y posteriormente “atrapado” en la roca.

Si observamos con detenimiento el conjunto de estas concepciones alternativas, podemos ver que unas son más imprecisas que otras, así como que algunas de ellas son muy diferentes entre sí. Sin embargo, ninguna de ellas incluye la noción de fósil como un resto originalmente orgánico que ha

sufrido procesos de transformación por mineralización y cuyo proceso de formación va ligado al del sustrato rocoso en el que se encuentra.

Algunas de las premisas de partida del estudiante a la hora de elaborar sus explicaciones propias pueden ejercer como barreras epistemológicas para la integración de un modelo mental adecuado sobre la noción de fósil y el proceso de fosilización. Por un lado, las concepciones fijistas siguen estando muy presentes en los esquemas representacionales sobre la Tierra y su evolución histórica. Es decir, existe una visión estática del planeta, en la cual resulta difícil acomodar un modelo conceptual, como es el de fosilización, integrado plenamente en el proceso de formación de las rocas sedimentarias. Por otro lado, la interpretación de fenómenos naturales basada en la cronología bíblica o la aceptación cultural de concepciones del medio natural de carácter animista pueden actuar como barreras epistemológicas en algunos casos. Finalmente, la escala de observación en la que se enmarcan los estudios de las ciencias geológicas impone serias limitaciones en la comprensión del alumnado del proceso de fosilización, puesto que involucra a procesos que no pueden ser reproducidos en tiempo real (Lillo, 1995; Pedrinaci, 1996).

Por lo tanto, es necesario que, a la hora de trabajar el concepto de fósil y el proceso de fosilización con el alumnado, no los desliguemos de aquellos procesos o nociones indisociables a sus significados, que podemos diferenciarlos en tres diferentes (Lillo, 1994, 1995; Pedrinaci, 1996):

- Origen de las rocas sedimentarias.
- Procesos de diagénesis (conjunto de procesos que van ligados a la formación de las rocas sedimentarias y que incluyen diferentes grados de transformación del material).
- Factor tiempo (escala de tiempo geológico).

En nuestro trabajo, empleamos los fósiles como un recurso didáctico sobre el que fundamentar el hilo conductor del proceso indagativo, así como punto de partida para trabajar contenidos curriculares correspondientes al curso de 4º de ESO. Asimismo, destacamos lo atractivo que el uso didáctico de fósiles puede resultar para el alumnado (Calonge, Bercial, García y López, 2003), así como que el fenómeno de la fosilización aparece como un elemento de conexión ideal para trabajar contenidos de los bloques de geología y biología de forma interrelacionada.

3.3.2. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre el concepto de “tiempo” en geología.

El tiempo geológico es un concepto crítico en las denominadas Ciencias de la Tierra (Dodick y Orion, 2003), pues éstas estructuran todo su cuerpo de conocimientos en torno al estudio espacial y temporal del planeta Tierra, tanto en lo que respecta a los procesos puramente físicos como a la interrelación entre los sistemas de la Tierra (geosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera). Por lo tanto,

el tiempo se convierte en un concepto estructurante en el proceso de construcción de conocimientos en el marco epistemológico de la geología, especialmente cuando su integración requiere un ejercicio de abstracción considerable y el manejo de escalas muy diferentes a las utilizadas en el concepto de tiempo convencional. Esto implica que, siendo uno de los más importantes en el estudio de la geología, el tiempo geológico sea uno de los conceptos más difíciles de comprender, debido a las barreras epistemológicas existentes y que dificultan su adecuada integración y aplicación (Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos, 1996).

Un aspecto que debemos tener en cuenta cuando hablamos de trabajar el tiempo geológico en los contextos de enseñanza-aprendizaje es que se trata de un concepto transversal y de cuya adecuada comprensión depende una correcta construcción de los modelos mentales sobre los principales procesos geológicos, así como otros conceptos básicos en biología, como el de la evolución. Por ello, su permanente relevancia a lo largo de la enseñanza reglada y su naturaleza compleja hacen que su desarrollo deba ser constante, a lo largo de los diferentes cursos académicos de la Educación Secundaria. No se trata de intentar que el alumnado adquiera la noción de tiempo geológico en una determinada etapa, ni mediante un proceso lineal, ya que su acomodación requiere de múltiples adquisiciones parciales, debidamente contextualizadas y que puedan ser relacionadas e integradas en su conjunto de forma coherente (Pedrinaci y Berjillos, 1994).

La transversalidad y complejidad inherentes al concepto de tiempo geológico hace que cuando nos referimos a una inadecuada o incompleta construcción de la noción de tiempo en el marco de la geología, podemos estar refiriéndonos a cosas notablemente diferentes. Sequeiros et al. (1996) mencionan algunos de los aspectos a los que podemos referirnos cuando decimos que la noción de tiempo geológico no está adecuadamente construida. Algunos de estos aspectos hacen referencia a contenidos específicos en el campo de la geología y otros a la capacidad de comprender nociones abstractas e integrarlas de forma aplicada, superando los obstáculos epistemológicos asociados al marco conceptual de la geología. Por lo tanto, cuando hablamos de que un estudiante no tiene el concepto de tiempo geológico adecuadamente construido, podemos estar refiriéndonos, entre otros aspectos, a:

1. Desconocimiento de la edad de la Tierra o la cronología de sus principales períodos.
2. Desconocimientos de las unidades de tiempo geológico principales.
3. Desconocimiento de los principales acontecimientos históricos.
4. Ausencia de noción aproximada sobre la duración requerida para que ocurra un proceso geológico determinado.
5. Incapacidad de apreciar diferencias claras entre diferentes procesos, en función de su duración (carencia de referencias para diferenciar magnitudes temporales).

6. Incapacidad de valorar el efecto acumulativo en el cambio geológico.
7. Incapacidad de concebir cambios geológicos como procesos continuados (concepción de la historia de la Tierra como una alternancia de periodos fijos y catastróficos).

En nuestro caso, nos interesa tener en cuenta toda la pluralidad de aspectos que son recomendables trabajar y que involucren al concepto de tiempo geológico, tanto aquellos referidos a contenidos específicos de la etapa educativa en la que trabajamos, como aquellos que se relacionan con las barreras epistemológicas que dificultan su integración. Sin embargo, de cara a intentar profundizar en las principales dificultades asociadas al aprendizaje del tiempo geológico, consideramos especialmente relevante centrarnos en aquellos obstáculos que dificultan una adecuada conceptualización del tiempo en geología y, por lo tanto, su aplicación a la hora de aprender procesos que ocurren a escala geológica. En este sentido, son varios los autores que hacen algunos apuntes al respecto; Cheek (2013) señala que la capacidad de integrar adecuadamente la noción de tiempo geológico depende de la adecuada asimilación de dos elementos básicos en torno a los cuales se estructura ésta:

- Sucesión.

Referido a la capacidad de atribuir relevancia a la correcta secuenciación de los acontecimientos de la historia geológica a la hora de intentar estudiarla. La correcta secuenciación de los eventos geológicos, en la enorme escala temporal en la que nos movemos, es de vital importancia a la hora de intentar dar sentido a lo que vemos a nuestro alrededor, tanto en nuestro entorno físico como biológico.

- Duración

Referido a la capacidad de realizar el ejercicio de abstracción necesario para concebir la magnitud del tiempo que requieren los procesos que manejamos en el estudio de la geología. Asimismo, también implica a la capacidad de emitir juicios fundamentados en relación a las diferencias existentes en el tiempo necesario para que ocurran unos fenómenos u otros (por ejemplo, no es lo mismo 20 millones de años que 200 millones de años).

Este autor concluye que el alumnado tiende a comprender mucho mejor la noción de sucesión que la de duración, dónde encontraríamos las principales dificultades. En esta misma línea, otros autores coinciden en la especial dificultad del alumnado en el manejo y diferenciación de intervalos de tiempo como los que son trabajados en la escala geológica (Hidalgo y Otero, 2004; Trend, 2001).

En el caso de nuestra propuesta educativa, creemos esencial tratar el concepto de tiempo geológico, al tratarse de una serie de actividades que se estructuran en torno al trabajo con fósiles. Al tratarse de un concepto para cuya integración se requiere un elevado desarrollo de la capacidad de

abstracción, seguimos las recomendaciones que apuntan a las analogías como una buena estrategia didáctica para trabajar conceptos abstractos, en general (Fernández, Moreno y González, 2003), y el tiempo geológico, en particular (Alegret, Meléndez y Trallero, 2001; Brusi, Miró y Soler, 1995).

3.3.3. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre el concepto de “evolución”.

Uno de los principales cuerpos teóricos sobre los que se sustenta la biología moderna es el de la teoría de la evolución. Su papel como eje vertebrador de las diferentes subdisciplinas que han ido surgiendo a lo largo de la historia de la biología (Bishop y Anderson, 1985 citado en Gallego y Muñoz, 2015) hace que su enseñanza sea muy importante en el contexto de la ESO, a pesar de la notable complejidad que conlleva, tanto su integración como modelo mental coherente, como la comprensión de sus mecanismos causantes.

Todo planteamiento didáctico en relación a la evolución biológica debe mostrar especial atención a las representaciones que el alumnado pueda tener desarrolladas acerca de dicho fenómeno. Por un lado, en lo referente a la aceptación de la evolución como hecho real, algunos autores señalan el problema de que algunos alumnos de Educación Secundaria rechazan la teoría de la evolución porque entra en contradicción con sus creencias religiosas (Blackwell, Powell y Dukes, 2003; Schilders et al., 2007 citado en Fernández y Sanjosé, 2013), algo que reviste especial importancia en países como Estados Unidos o Turquía, donde, según datos del año 2006, un 60% y 75%, respectivamente, de la población adulta, asegura no creer o no estar seguro de la veracidad de la evolución (en el caso de España, en torno a un 25% de la población adulta niega o duda acerca de la evolución) (Miller, Scott y Okamoto, 2006). Por otro lado, una vez que ésta es aceptada, existen diferencias notables entre el alumnado a la hora de explicar los mecanismos mediante los cuales sucede la evolución (Abrams y Southerland, 2001), pero en general estas explicaciones se encuentran muy alejadas del modelo darwinista de evolución mediante selección natural, observándose esquemas explicativos que se aproximan a interpretaciones lamarckistas de la evolución (Fernández y Sanjosé, 2013; Gallego y Muñoz, 2015; Grau y de Manuel, 2002; Jiménez, 1991; Samarapungavan y Wiers, 1997). Como interpretaciones lamarckistas nos referimos a todos aquellos razonamientos que mantengan ciertas similitudes con alguno de los dos grandes principios que caracterizaban a la teoría de la evolución de Lamarck (Gould, 2004):

1. La evolución es un proceso que implica un progresión, desde formas más simples hasta formas más complejas.
2. El surgimiento de adaptaciones se produce por la inducción provocada por el medio externo del organismo sobre éste (teoría externalista), en contraposición al darwinismo que focaliza en el medio interno el proceso de cambio (teoría internalista). Los caracteres adquiridos por estos mecanismos son heredables y, por lo tanto, transmitidos a la descendencia.

Las explicaciones de corte lamarckista en los esquemas representacionales del alumnado de

Educación Secundaria se encuentran muy extendidas. En este sentido, el fenómeno evolutivo tiende a explicarse desde premisas que implican la “necesidad” del organismo por adaptarse al medio que le rodea, el supuesto “progreso” (Fernández y Sanjosé, 2013; Samarapungavan y Wiers, 1997) como condición inherente a la evolución, la aparente “finalidad” (perspectiva teleológica) del proceso evolutivo (Fernández y Sanjosé, 2013; Grau y de Manuel, 2002) o la “herencia de los caracteres adquiridos” (Samarapungavan y Wiers, 1997). Por lo tanto, las concepciones alternativas que el alumnado tiene con respecto a la evolución son notablemente diversas, pero con el punto común de que son construidas a partir de razonamientos inicialmente más intuitivos para el alumnado y que pueden ser conjugados con esquemas mentales propios de nuestra cultura (teleología, antropocentrismo, religión, etc.) (Fernández y Sanjosé, 2013).

Aparte de la evidente dificultad de promover un cambio en los esquemas representacionales del alumnado en relación a la evolución biológica, resulta especialmente llamativo que muchos libros de texto contribuyan, de diferentes formas, a potenciar dichos modelos conceptuales, especialmente a partir de un uso confuso del término “adaptación” (Gándara, Gil y Sanmartí, 2002). De esta forma, aunque en múltiples contextos educativos se insista en la negación del lamarckismo como teoría válida para explicar la evolución y se trabajen conceptos fundamentales para entender los mecanismos asociados a la evolución por selección natural, el alumnado tiende a mantener los dos esquemas conceptuales (el darwinista, válido para el contexto académico y el lamarckista, válido para el contexto cotidiano) (Fernández y Sanjosé, 2013; Gallego y Muñoz, 2015), mostrándose el modelo lamarckista completamente dominante, nuevamente, en alumnado universitario, especialmente en el que cursa estudios en ciencias no experimentales (Fernández y Sanjosé, 2013).

Esta adhesión del alumnado a mecanismos lamarckistas, cuando intentan explicar cómo sucede la evolución, es la consecuencia de que éstos responden a una lógica inicialmente más intuitiva y que entra en consonancia con esquemas explicativos asociados a nuestra cultura, como hemos comentado anteriormente. Sin embargo, también es importante referirnos a algunos conceptos fundamentales, necesarios para explicar la evolución mediante selección natural y cuya integración, por parte del alumnado, se ve dificultada por la existencia de fuertes barreras epistemológicas. En este sentido, la variabilidad intraespecífica aparece como una de las nociones menos evidentes para los estudiantes, a pesar de ser un concepto básico para entender el mecanismo evolutivo por selección natural. El alumnado de Educación Secundaria suele mostrar concepciones de las especies de corte esencialista, entendiendo a la especie como un modelo único y con unas características muy determinadas. Una mala comprensión del concepto de especie, en la que no se contemple la variabilidad, dificulta mucho la comprensión de la evolución y sus mecanismos (Tamayo, Hurtado y Troncoso, 1998 citado en Jiménez-Tejada, 2009). Por lo tanto, la noción de variabilidad intraespecífica e intrapoblacional, así como los mecanismos de generación de ésta (principalmente la mutación) deben ser considerados conceptos sobre los que es necesario insistir en las propuestas didácticas sobre evolución en Educación Secundaria.

Algunos autores han recalcado la ineficacia mostrada por los métodos de la enseñanza transmisiva para la integración de los conceptos evolutivos (Blackwell et al., 2003; Skoog y Bilica, 2002). En nuestra propuesta didáctica tratamos de incluir la evolución como uno de los grandes contenidos a trabajar, mediante un planteamiento basado en la explicitación de las concepciones alternativas, promoción del conflicto cognitivo y aproximación a un modelo conceptual más coherente con el científico. Al tratarse de actividades diseñadas en torno a un hilo conductor que involucrará el uso de fósiles como recurso didáctico, no trabajaremos contenidos relacionados con la evolución desde una perspectiva molecular y que aparecen en el currículo oficial (ADN, mutación, concepto de gen, expresión de la información genética, código genético, etc.). No obstante, consideramos que puede ser de utilidad promover contextos en los que el alumnado manifieste sus concepciones alternativas, así como centrarnos en el concepto de variabilidad intraespecífica como elemento central sobre el que aproximarnos al modelo de evolución mediante selección natural.

3.4. Las grandes ideas (*Big Ideas*) en la enseñanza de las ciencias.

Una de las grandes implicaciones que ha tenido la investigación en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales ha sido el desarrollo o conceptualización de las denominadas grandes ideas de la ciencia (“Big Ideas” según su denominación en inglés). El potencial didáctico de este planteamiento se sustenta sobre la idea de que para que suceda un aprendizaje verdaderamente significativo, la ciencia debe mostrarse como un medio de conexión con la realidad, que desarrolle en el alumnado la capacidad de comprender, explicar y predecir fenómenos que se muestren coherentes con un sistema lógico que el propio alumnado pueda haber integrado o haber ido construyendo progresivamente (Couso, 2014; Harlen, 2010).

Este planteamiento de las grandes ideas en ciencia entronca con marcos teóricos, desarrollados en la investigación sobre didáctica de las ciencias recientemente, que proponen la modelización como la estrategia idónea para promover la adquisición de la competencia científica, al permitir el desarrollo de conocimientos teóricos sobre ciencia y, paralelamente, el de prácticas epistémicas que involucren al alumnado en la construcción de conocimientos sostenidos sobre sistemas de explicaciones amplios y que aportan sentido y coherencia a éstos (Couso, 2014). La enseñanza de las ciencias centrada en modelos implica que la integración de conocimientos científicos y la realización de preguntas en las clases de ciencias deben ir encaminadas a la construcción de modelos científicos, es decir, sistemas conceptuales coherentes y que tengan una elevada potencialidad de explicación y predicción de fenómenos asociados. Este planteamiento didáctico se diferencia notablemente del empleado tradicionalmente en la enseñanza de las ciencias, el cual se basaba en la transmisión de contenidos teóricos fragmentados, que terminan conformándose como un conjunto de enunciados axiomáticos y con una elevada desconexión de la realidad (Oh y Oh, 2011). De esta forma, los modelos pueden considerarse como subconjuntos de grandes teorías científicas y que pueden ser utilizados como grandes sistemas de explicación y predicción. Su valor didáctico radica en su potencialidad de permitir el razonamiento científico, así como la resolución de problemas conectados directamente con el mundo real (Windschitl y Thompson, 2006).

El enfoque de la enseñanza de las ciencias basado en las grandes ideas ha tomado cuerpo a diferentes niveles. A día de hoy, disponemos de propuestas que exploran este planteamiento de distintas maneras, como hacen Osborne y Dillon (2008), quienes fundamentan la enseñanza de las ciencias, en general, en torno al desarrollo de las grandes explicaciones que aporta la ciencia y que condicionan o delimitan la forma por la que se consigue construir conocimiento (principios epistemológicos). En una línea similar, Harlen (2010) identifica diez grandes ideas que abarcarían al conjunto de las ciencias experimentales, en lo referente a sus teorías y principios vertebradores, mientras que también distingue cuatro grandes ideas “sobre” ciencia, que engloba a los grandes principios epistemológicos sobre los que se construye la ciencia como un conjunto de métodos que nos permiten conocer el mundo. Estas cuatro ideas son:

1. La ciencia acepta que, para todos los efectos, siempre hay una o más causas.

2. Las explicaciones científicas, teorías y modelos son aquellos que mejor explican la realidad en un momento particular.
3. El conocimiento generado por la ciencia es usado por la tecnología e ingeniería para crear productos con alguna utilidad para los seres humanos.
4. Las aplicaciones de la ciencia tienen, a menudo, implicaciones éticas, sociales, económicas y políticas.

Sin embargo, tal y como indica Harlen (2010), las grandes ideas no se definen por su alcance, por lo que también se han desarrollado interesantes iniciativas que profundizan en la delimitación de las grandes ideas de las principales áreas de investigación. En lo relativo a este trabajo, destacamos las grandes ideas en Ciencias de la Tierra, desarrolladas por la *National Science Foundation* y la *American Association for the Advancement of Science*, en el marco del proyecto *Earth Science Literacy Principles* (National Science Foundation, 2010), referente de posteriores propuestas formuladas en la misma línea en el ámbito nacional y que han sido dirigidas hacia las administraciones educativas para la elaboración de los currículos de Ciencias de la Tierra (Pedrinaci et al., 2013).

En consonancia con lo expuesto por Couso (2014), la conexión existente entre el fundamento de la enseñanza de las ciencias mediante modelización didáctica y la acotación de grandes ideas clave en ciencias se hace evidente, pues en ambos casos confluyen concepciones que plantean la imposibilidad de reducir, en sus componentes mínimos, los grandes constructos de conocimiento desarrollados a lo largo de la historia de la ciencia. Esto se traduce en el surgimiento de un debate en torno a las implicaciones curriculares que este planteamiento pudiera tener, valorándose las opciones de transformación de un currículo excesivamente fragmentado en sus contenidos por un currículo conformado por aquellas grandes ideas o teorías científicas que ofrezcan marcos explicativos amplios, de cara a permitir crear contextos de predicción y explicación que conecten con la realidad del alumnado. Esto se sostiene sobre la asunción de que el estudio de conceptos aislados e inconexos no favorece la comprensión, al no implicar la integración en modelos más amplios que aporten coherencia y significado real. Sin embargo, es importante recalcar que, detrás de la defensa de un diseño curricular más abierto y fundamentado en las principales grandes ideas de la ciencia, subyace la convicción de que el aprendizaje es un proceso gradual, por lo que la construcción de modelos científicos responde a esa misma lógica gradual. Así, la construcción progresiva de modelos científicos implica la integración de un número cada vez mayor de fenómenos en los esquemas explicativos puestos en juego, sin necesidad de que haya un empobrecimiento del currículo; más bien, podríamos hablar de una readaptación curricular, en consonancia con metodologías que tienen la potencialidad de resultar en un aprendizaje más significativo. Por lo tanto, la enseñanza enfocada en los grandes modelos no implica la explicitación absoluta de las grandes teorías centrales de la ciencia, sino su construcción progresiva y adaptada, consecuentemente, a las diferentes etapas de formación del alumnado (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2009).

Finalmente, de cara a una contextualización práctica de lo que supone trabajar contenidos científicos desde la referencia marcada por las grandes ideas en ciencias, resaltamos aquellos aspectos más relevantes que pretenden ser abordados en nuestra propuesta, partiendo de las grandes ideas en Ciencias de la Tierra identificadas por la National Science Foundation (2012). En este sentido, son dos las grandes ideas que trabajaremos con nuestra propuesta (Tabla 3.2.).

Tabla 3.2. Identificación de las grandes ideas en Ciencias de la Tierra susceptibles de ser abordadas en nuestro diseño didáctico, así como las sub-ideas en las que basaremos el desarrollo de éstas. La numeración mostrada se corresponde con la reflejada por National Science Foundation (2010) en su propuesta.

GRAN IDEA 2: La Tierra tiene 4.600 millones de años.	6. La vida en la Tierra empezó hace más de 3.500 millones de años.
	7. A lo largo de toda la historia de la Tierra, procesos graduales y catastróficos han causado cambios enormes.
GRAN IDEA 6: La vida evoluciona en una Tierra dinámica y la modifica continuamente.	1. Los fósiles son la evidencia preservada de la vida antigua.
	2. La evolución, incluyendo el origen y extinción de las especies, es un proceso natural y en desarrollo.
	3. La diversidad biológica, pasada y presente, es enorme y aún no descubierta en su totalidad.
	4. A lo largo del curso de la historia de la Tierra han surgido formas de vida y ecosistemas más complejos.
	6. Las extinciones masivas ocurren cuando las condiciones globales cambian más rápido que la adaptación de un gran número de especies.
	7. Las particulares formas de vida que existen hoy, incluyendo a los humanos, son un resultado único en la historia de los sistemas de la Tierra.

4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA

4.1. Marco curricular.

El diseño de nuestra propuesta educativa debe responder coherentemente a los elementos curriculares desarrollados en la vigente ley, la Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013*b*). Según lo establecido en Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la ESO y del Bachillerato (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015*a*), la asignatura de Biología y Geología en cuarto curso de ESO tendrá carácter optativo y se ofertará en la opción específica de “enseñanzas académicas para la iniciación al Bachillerato”. Por lo tanto, el alumnado al que va dirigida nuestra propuesta tendrá una vocación, *a priori*, de realizar los estudios de Bachillerato.

Por lo tanto, según las indicaciones marcadas por el currículo básico de la ESO, contenidas en el Real Decreto 1105/2014, referente a los elementos curriculares de los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables, nuestra propuesta didáctica trabajará, parcialmente, los cuatro bloques temáticos de la materia tal como indica la tabla 4.1.

Por otro lado, consideramos de especial importancia atender a las orientaciones metodológicas que nos proporciona el currículo a la hora de diseñar y justificar nuestra propuesta didáctica. En este sentido, la Orden de 21 de enero de 2015, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria y el bachillerato (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015*b*), nos sirve como un documento curricular básico para fundamentar el desarrollo de las competencias como elemento curricular. Por lo tanto, las competencias que pretendemos trabajar a lo largo de nuestra propuesta didáctica son:

1. Competencia en comunicación lingüística.

La comunicación lingüística es trabajada a lo largo de toda la secuencia de actividades en tanto que se trata de una competencia estrechamente relacionada con las metodologías activas de aprendizaje, donde podríamos encuadrar a la nuestra. En el conjunto de nuestra propuesta se plantean contextos comunicativos abundantes y donde se demandan usos de la lengua ricos y variados, así como situaciones de lectura comprensiva, especialmente enfocadas a la búsqueda de información. Por lo tanto, nuestra intención es la de crear una propuesta coherente con la idea de desarrollo de la competencia en comunicación lingüística en un sentido integral y atendiendo a sus diferentes componentes.

Tabla 4.1. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables correspondientes a Biología y Geología de 4º de ESO, asignatura en la que enmarcamos nuestra propuesta, según lo establecido en el Real Decreto 1105/2014. Añadimos en negrita aquellos contenidos que, específicamente, van a ser trabajados en la propuesta, así como las partes de los criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables que cobra sentido aplicar, dadas las características de nuestra propuesta.

BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA. 4º ESO		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 1. La evolución de la vida		
<p>Origen y evolución de los seres vivos.</p> <p>Teorías de la evolución. El hecho y los mecanismos de la evolución</p>	<p>16. Conocer las pruebas de la evolución. Comparar lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo.</p> <p>17. Comprender los mecanismos de la evolución destacando la importancia de la mutación y la selección natural. Analizar el debate entre gradualismo, saltacionismo y neutralismo.</p> <p>18. Interpretar árboles filogenéticos, incluyendo el humano.</p>	<p>16.1. Distingue las características diferenciadoras entre lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo.</p> <p>17.1. Establece la relación entre variabilidad genética, adaptación y selección natural.</p> <p>18.1. Interpreta árboles filogenéticos.</p>
Bloque 2. La dinámica de la Tierra.		
<p>La historia de la Tierra</p> <p>El origen de la Tierra. El tiempo geológico: ideas históricas sobre la edad de la Tierra. Principios y procedimientos que permiten reconstruir su historia. Utilización del actualismo como método de interpretación.</p> <p>Los eones, eras geológicas y periodos geológicos: ubicación de los acontecimientos geológicos y biológicos importantes.</p>	<p>1. Reconocer, recopilar, y contrastar hechos que muestren a la Tierra como un planeta cambiante.</p> <p>2. Registrar y reconstruir algunos de los cambios más notables de la historia de la Tierra, asociándolos con su situación actual.</p> <p>3. Interpretar cortes geológicos sencillos y perfiles topográficos como procedimiento para el estudio de una zona o terreno.²</p> <p>4. Categorizar e integrar los procesos geológicos más importantes de la historia de la Tierra.</p> <p>5. Reconocer y datar los eones, eras y periodos geológicos, utilizando el conocimiento de los fósiles guía.</p>	<p>1.1. Identifica y describe hechos que muestren a la Tierra como un planeta cambiante, relacionándolos con los fenómenos que suceden en la actualidad.</p> <p>2.1. Reconstruye algunos cambios notables en la Tierra, mediante la utilización de modelos temporales a escala y reconociendo las unidades temporales en la historia geológica.</p> <p>3.1. Interpreta un mapa topográfico y hace perfiles topográficos.²</p> <p>3.2. Resuelve problemas simples de datación relativa, aplicando los principios de superposición de estratos, superposición de procesos y correlación.²</p> <p>4.1. Discrimina los principales acontecimientos geológicos, climáticos y biológicos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra, reconociendo algunos animales y plantas características de cada era.</p> <p>5.1. Relaciona algunos de los fósiles guía más característicos con su era geológica.</p>

²El uso del actualismo como método de interpretación será utilizado como un aspecto metodológico clave en nuestra propuesta, en el proceso de emulación de la actividad científica en paleontología. Sin embargo, nuestro enfoque no concuerda adecuadamente con los criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables incorporados en el Real Decreto 1105/2014, en asociación a dicho contenido.

Tabla 4.1. (continuación)

BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA. 4º ESO		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Bloque 3. Ecología y medio ambiente.		
Factores limitantes y adaptaciones. Impactos y valoración de las actividades humanas en los ecosistemas.	5. Comparar adaptaciones de los seres vivos a diferentes medios mediante la utilización de ejemplos. 8. Contrastar algunas actuaciones humanas sobre diferentes ecosistemas. Valorar su influencia y argumentar las razones de ciertas actuaciones individuales y colectivas para evitar su deterioro	5.1. Reconoce los diferentes niveles tróficos y sus relaciones en los ecosistemas, valorando la importancia que tienen para la vida en general el mantenimiento de las mismas. 8.1. Argumenta sobre las actuaciones humanas que tienen una influencia negativa sobre los ecosistemas: contaminación, desertización, agotamiento de recursos,... 8.2. Defiende y concluye sobre posibles actuaciones para la mejora del medio ambiente.
Bloque 4. Proyecto de investigación.		
- Proyecto de investigación.	1. Planear, aplicar e integrar las destrezas y habilidades propias del trabajo científico. 2. Elaborar hipótesis y contrastarlas a través de la experimentación o la observación y argumentación. 3. Discriminar y decidir sobre las fuentes de información y los métodos empleados para su obtención. 4. Participar, valorar y respetar el trabajo individual y en grupo. 5. Presentar y defender en público el proyecto de investigación realizado.	1.1. Integra y aplica las destrezas propias de los métodos de la ciencia. 2.1. Utiliza argumentos justificando las hipótesis que propone. 3.1. Utiliza diferentes fuentes de información, apoyándose en las TIC, para la elaboración y presentación de sus investigaciones. 4.1. Participa, valora y respeta el trabajo individual y grupal. 5.1. Diseña pequeños trabajos de investigación sobre animales y/o plantas, los ecosistemas de su entorno o la alimentación y nutrición humana para su presentación y defensa en el aula. 5.2. Expresa con precisión y coherencia tanto verbalmente como por escrito las conclusiones de sus investigaciones.

2. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.

La competencia matemática es trabajada por medio de la inclusión de contextos de razonamiento matemático aplicado, enfocados al empleo de herramientas descriptivas e interpretativas con carácter predictivo. De esta forma, atendemos al desarrollo de nociones elementales en el razonamiento matemático, tales como la de “cantidad” (especialmente en el trabajo de la noción de tiempo geológico, donde nos centraremos en la distinción de magnitudes, unidades y tamaño relativo) y la de “cambio y relaciones” (al referirnos a las relaciones temporales entre diferentes “objetos” y circunstancias).

La competencia científica es la que, por razones didácticas, más trabajamos a lo largo de nuestra propuesta. Uno de los aspectos esenciales en la enseñanza de las ciencias es el de contribuir al desarrollo del pensamiento científico en sus diversos sentidos (uso de la racionalidad científica, desarrollo de destrezas tecnológicas, adquisición de conocimientos, contrastación de ideas como medio para la

construcción de conocimiento, etc.). En esta línea, se plantea como esencial el fomento de habilidades para la manipulación de herramientas y el uso de datos y procesos científicos para la consecución de objetivos científicos (identificar preguntas relevantes, resolver situaciones problemáticas, establecer conclusiones fundamentadas y tomar decisiones basadas en argumentos y pruebas rigurosas). Asimismo, también resulta importante recalcar que el desarrollo de la competencia científica se favorece cuando se intentan emplear metodologías que fomenten una visión de la ciencia como algo cercano y de lo que el propio alumnado puede ser partícipe, fomentando actitudes y valores positivos hacia la ciencia como medio de aproximación a la realidad material. Por otro lado, consideramos que nuestra propuesta es amplia en el desarrollo de contenidos, abriendo vías que conectan con dos ámbitos competenciales (el de “sistemas biológicos” y el de “sistemas de la Tierra”). Finalmente, destacamos que la adquisición de la competencia científica pasa por la formación práctica en dos dimensiones de carácter transversal; la “investigación científica” como medio para la construcción de conocimientos científicos y la “comunicación de la ciencia”, como parte esencial del proceso comunicativo que acompaña a cualquier actividad científica. En este sentido, nuestra propuesta intenta cuidar esas dos dimensiones y contribuir a un desarrollo integral del aprendizaje científico.

3. Competencia digital.

La competencia digital va estrechamente relacionada con el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes adecuadas para el uso de herramientas digitales de una forma efectiva. La adquisición de conocimientos de aplicaciones o medios informáticos es esencial para el acceso a las fuentes de información, al igual que el desarrollo de habilidades enfocadas al acceso y gestión, de dicha información, de forma eficiente. Asimismo, de forma pareja, debemos considerar el necesario desarrollo de actitudes activas y críticas con respecto al manejo de la información a través de los medios digitales, de cara a tomar conciencia acerca de sus fortalezas y debilidades. Por lo tanto, teniendo en cuenta las diferentes dimensiones a través de las que podemos constatar el desarrollo de la competencia digital, nosotros nos centraremos en la que concierne al acceso y manejo de la información a través de medio digitales.

4. Aprender a aprender.

El desarrollo de esta competencia pasa por el trabajo enfocado a la adquisición de destrezas fundamentales para el aprendizaje autónomo y permanente. En nuestro caso, pretendemos crear contextos que promuevan el desarrollo de esta competencia en un sentido amplio, para lo cual es necesario que el alumnado tenga motivación para el aprendizaje, así como que el alcance de las metas propuestas sea el adecuado, de cara a elevar la percepción de auto-eficacia con respecto a la resolución de los problemas a los que se enfrenta y, de esta forma, se contribuya a una valoración positiva del aprendizaje autónomo. Asimismo, no menos importante es el desarrollo de capacidades para el control de los propios procesos de aprendizaje por medio del desarrollo de conocimientos y destrezas metacognitivas, referidas al propio proceso de aprendizaje. Esta serie de aspectos van incluidos en nuestra pro-

puesta, ligados a la aplicación y puesta en práctica de estrategias directamente vinculadas al afrontamiento de procesos de aprendizaje autónomo, por medio de estrategias como la planificación (referido al ejercicio de pensar para actuar), la supervisión (referido al análisis y ajuste continuado del proceso abierto de enseñanza-aprendizaje) y la evaluación (referido a la consolidación y/o modificación de dicho proceso en función de criterios coherentemente delimitados).

5. Competencias sociales y cívicas.

El trabajo de las competencias sociales, particularmente, es abordado en nuestra propuesta didáctica de forma parcial, por medio de la atención prestada a algunos aspectos fundamentales que favorecen actitudes edificantes en las relaciones entre alumnos durante el desarrollo de las actividades, tales como la capacidad de comunicarse de manera constructiva, mostrar tolerancia hacia los planteamientos u opiniones ajenas o comprender los puntos de vista diferentes.

Según las orientaciones metodológicas aportadas por la Orden ECD/65/2015 en su Anexo II (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015b), “Los métodos [...] deben enfocarse a la realización de tareas o situaciones-problema, planteadas con un objetivo concreto, que el alumnado debe resolver haciendo un uso adecuado de los distintos tipos de conocimientos, destrezas, actitudes y valores” (p. 7002.). Asimismo, se fundamenta el uso de metodologías activas, basándose en que para “potenciar la motivación por el aprendizaje de competencias se requieren, además, metodologías activas y contextualizadas. Aquellas que faciliten la participación e implicación del alumnado y la adquisición y uso de conocimientos en situaciones reales, serán las que generen aprendizajes más transferibles y duraderos” (p. 7003.). Por otro lado, también se enfatizan las ventajas del trabajo colectivo, al afirmar que “las metodologías activas han de apoyarse en estructuras de aprendizaje cooperativo, de forma que, a través de la resolución conjunta de las tareas, los miembros del grupo conozcan las estrategias utilizadas por sus compañeros y puedan aplicarlas a situaciones similares” (p. 7003.); en la misma línea, se añade que “las estrategias interactivas son las más adecuadas, al permitir compartir y construir el conocimiento y dinamizar la sesión de clase mediante el intercambio verbal y colectivo de ideas” (p. 7003).

En la misma línea se expresa El Decreto 111/2016, de 14 de junio, de la Junta de Andalucía, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía (Consejería de Educación, 2016), en diferentes apartados del artículo 7 (“Recomendaciones de metodología didáctica”); así, en el número cuatro se nos dice que:

Las líneas metodológicas de los centros docentes tendrán la finalidad de favorecer la implicación del alumnado en su propio aprendizaje, estimular la superación individual, el desarrollo de todas sus potencialidades, fomentar su autoconcepto y su autoconfianza, y los procesos de aprendizaje autónomo, y promover hábitos de colaboración y de trabajo en equipo (p. 32.).

En el apartado 5 se afirma que “las programaciones didácticas de las distintas materias de la Educación Secundaria Obligatoria incluirán actividades que estimulen [...] la capacidad de expresarse correctamente en público” (p. 32.). En el apartado 6 encontramos que “se estimulará la reflexión y el pensamiento crítico en el alumnado, así como los procesos de construcción individual y colectiva del conocimiento, y se favorecerá el descubrimiento, la investigación, el espíritu emprendedor y la iniciativa personal” (p. 32.); en el apartado 8 se afirma que “se adoptarán estrategias interactivas que permitan compartir y construir el conocimiento y dinamizarlo mediante el intercambio verbal y colectivo de ideas y diferentes formas de expresión” (p. 32.); el apartado 9 dice que “Se emplearán metodologías activas que contextualicen el proceso educativo, que presenten de manera relacionada los contenidos [...], favoreciendo la participación, la experimentación y la motivación de los alumnos y alumnas al dotar de funcionalidad y transferibilidad a los aprendizajes” (p. 32.). Todo el conjunto de orientaciones mostradas anteriormente concuerdan con el enfoque didáctico de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación, en general, y con nuestra propuesta, en particular.

Finalmente, resaltamos nuestra intención de elaborar una propuesta coherente con los objetivos de la ESO, reflejados en el Real Decreto 1105/2014 (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015a) y Decreto 111/2016 (Consejería de Educación, 2016), dentro de los cuales destacamos el objetivo de “concebir el conocimiento científico como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia” (p. 177; p. 29).

Por todo lo anterior, consideramos que nuestra propuesta se amolda a las orientaciones marcadas por el currículo, tanto en lo referido a contenidos correspondientes a la etapa o curso, como en las correspondientes a aspectos metodológicos, que revisten una gran importancia, especialmente para un enfoque educativo basado en las competencias clave.

4.2. Secuencia de actividades.

Sesión 1.

Duración: 1 hora – 2 horas.

Lugar: Aula del centro escolar.

Actividad 1: Una roca misteriosa.

Se presenta un texto ficticio al conjunto del alumnado en el que se explicita el descubrimiento de una roca en la que se aprecia una mandíbula fosilizada con relativa facilidad. Este texto representaría un supuesto hallazgo, por parte de una persona allegada, la cual muestra un total desconocimiento acerca de lo que puede ser. Una propuesta de texto podría ser la siguiente:

¡Saludos desde el norte de España!

Como ya sabes, hace una semana que comencé mi viaje por el conjunto de la geografía española, visitando parajes naturales de sus diferentes regiones. He estado en algunos espacios protegidos de gran valor ecológico y me ha sorprendido la gran variedad de paisajes que podemos encontrar nuestro territorio; desde las zonas desérticas de Almería hasta las más lluviosas de Galicia o desde las zonas de dunas y acantilados de nuestra heterogénea costa, hasta las regiones de elevada altitud, como Sierra Nevada o Picos de Europa.

Actualmente me encuentro en la cordillera de Los Pirineos, donde se encuentra la frontera entre territorio francés y español, y te escribía este correo para preguntarte sobre una extraña roca que me encontré ayer en una de mis excursiones de senderismo. Se trata de una roca que presenta una cosa muy llamativa, que recuerda fuertemente a una mandíbula. ¡Qué digo recuerda!, si no fuera por lo raro que me parece esta idea, juraría que se trata de una mandíbula inserta en plena roca, pero te reconozco que es algo que me cuesta creer.

Nunca en mi vida he visto nada igual, por lo que supongo que no debe ser muy común encontrarse este tipo de cosas, pero me gustaría saber si lo que me he encontrado tiene algún valor especial. Si así fuera, me comprometería a avisar a las autoridades acerca de mi hallazgo, pero me gustaría tener algunas nociones acerca de qué puede ser; ya sabes... para no avisar innecesariamente. ¿Podrías ayudarme a solucionar el misterio de esta roca?

Finalizada la lectura, comenzamos con algunas preguntas genéricas al conjunto de la clase para que el alumnado responda oralmente en forma de “lluvia de ideas”:

- *¿Qué pensáis que ha podido encontrar nuestro amigo?*
- *¿Pensáis que se trata de una mandíbula de verdad, o solamente algo parecido?*
- *¿Cómo creéis que ha llegado hasta ahí?*
- *¿Creéis que puede tener algún valor?*

En esta primera intervención, es de esperar que el alumnado, o al menos parte de éste, responda que a lo que probablemente se refiera el texto sea al hallazgo de un fósil. Esto puede ser complementado mediante la foto de alguna mandíbula fósil real, como la que se muestra en la figura 4.1. (la mandíbula mostrada en la imagen, aún siendo de otra especie diferente a la que se refiere el texto y con la que posteriormente trabajaremos, puede servirnos como ejemplo para ver la forma en la que podría haberse encontrado originalmente el fósil, incluido en la roca).



Figura 4.1. Ejemplo de mandíbula fósil incluida en roca y que puede servir para ejemplificar el aspecto aproximado que podría tener nuestro fósil problema cuando fue hallado. En este caso se trata de un ejemplar de primate, del género *Pseudoloris*, con un tamaño aproximado de 5 mm, tal y como se puede ver en el papel milimetrado que actúa como referencia.

Concluida la lluvia de ideas, creamos grupos de 4 o 5 alumnos que se corresponderán con grupos de discusión y debate. Una vez hecho esto, planteamos que cada grupo elabore explicaciones razonadas acerca del material encontrado, argumentando el porqué podemos pensar que se trata de un fósil. Debemos explicitarles que su razonamiento se base en dos aspectos:

1. *¿A qué se están refiriendo ellos cuando hablan de fósil?*
2. *¿Por qué el material encontrado podría, probablemente, considerarse un fósil propiamente?*

Es de esperar que las discusiones intragrupalas generadas permitan la manifestación de concepciones

alternativas muy variadas en torno a las diversas formas de entender el concepto de fósil entre la mayor parte del alumnado de la Educación Secundaria, normalmente incompletas, fragmentadas o claramente erróneas. A cada grupo se le solicitará:

- Redacción de las explicaciones elegidas.
- Elaboración de una secuencia de dibujos en los que se represente, de forma gráfica, cómo creen que ocurre el proceso de formación de un fósil.

Una vez terminadas estas dos solicitudes, cada grupo hará una breve explicación razonada acerca de sus hipótesis de partida (se trata o no de un fósil → porque consideramos que un fósil es...). De esta forma, cada grupo establece su hipótesis particular, fundamentada en la idea que tienen acerca de lo que delimita el concepto de fósil. Ambas producciones (redacción y dibujo) serán entregadas al docente y archivadas para su posterior uso en otra sesión.

Justificación.

Comenzamos la secuencia de actividades con una historia o relato que nos sirva para contextualizar y darle sentido a la propuesta de intervención. A partir de esta lectura inicial engarzamos con preguntas relevantes para intentar empezar a problematizar la situación y prepararnos para la búsqueda de soluciones al enigma que se indica en el texto. La historia contada sirve como punto de partida de la secuencia de actividades, así como representa el hilo conductor subyacente a todo el proceso posterior.

Pretendemos que las preguntas formuladas inicialmente, tras la lectura del texto, favorezcan el aprendizaje y/o la apropiación del problema planteado por el alumnado. Seguimos a Márquez y Roca (2006) a la hora de elegir la tipología de las preguntas, decantándonos por cuestiones con un grado de apertura considerable, que favorezca la producción creativa de propuestas propias, formuladas de una forma centrada en el alumnado (¿Qué pensáis que ocurre...?, ¿Cómo pensáis que ocurre...?) y no en los contenidos teóricos (¿Cómo ocurre...?, ¿Qué ocurre?), de tal forma que promuevan la movilización de recursos cognitivos propios (explicitación de modelos previos), así como hemos intentado contextualizarlas (mediante el texto mostrado leído) y ser claros en las demandas realizadas. El uso de preguntas mediadoras, que interrelacionen y guíen un proceso de generación de conocimiento para la construcción de modelos teóricos, ha sido puesto en valor por diferentes autores (Márquez, Roca, Gómez, Sardá y Pujol, 2004; Márquez, Bonil y Pujol, 2005; Roca, 2005). En nuestro caso, usamos dicha estrategia para la explicitación de los modelos previos que poseen acerca del concepto de fósil y los procesos implicados en su formación.

La formación de grupos de discusión toma especial relevancia a la hora de consensuar los modelos iniciales, promoviendo dinámicas propias de la práctica científica, como es el trabajo colaborativo y basado en contextos de discusión (Worth et al., 2009 citado en Martínez-Chico, 2013).

Asimismo, es necesario aclarar las demandas realizadas sobre el alumnado (Márquez y Roca, 2006), por lo que es muy importante indicarles la línea de argumentación que deben seguir (marcada por los dos aspectos recalcados más arriba). Por otro lado, el trabajo en grupos enfocado a la emisión de hipótesis es sumamente importante para la creación de contextos de confrontación entre hipótesis contrarias o parcialmente diferentes (Couso, 2014; Martínez-Chico, 2012 citado en Martínez-Chico, 2013), algo que pretendemos facilitar a través de la exposición mencionada de cada grupo.

Otro aspecto importante son las respuestas esperadas en algunas de las preguntas que realizamos a lo largo de la actividad. Esperamos la identificación de fósil según los términos descritos en el texto, puesto que el alumnado de secundaria tiende a relacionar la presencia de restos orgánicos incluidos en rocas con el término de fósil con relativa facilidad (Pedrinaci, 1996). Sin embargo, podemos suponer que el alumnado mostrará una interesante diversidad de conceptos de fósil y, por consiguiente, de formas de entender el proceso de fosilización, en consonancia con la frecuente disparidad de concepciones asociadas habitualmente al proceso de fosilización y su escasa o nula coincidencia con conceptos integralmente correctos (Lillo, 1994; Lillo, 1995) (Ver apartado 3.3.1., de concepciones previas sobre fósiles, mencionado anteriormente).

La intención de esta sesión es la de promover que el alumnado explicita sus concepciones acerca de lo que son los fósiles y el proceso de fosilización, a raíz de un caso particular (sobre el que volveremos en posteriores sesiones, las cuales adquieren forma de hipótesis puesto que se aventuran a plantear la posibilidad de que el caso planteado inicialmente sea un fósil o no, para lo cual utilizan sus concepciones al respecto. A continuación, procedemos a organizar una sesión en la que el alumnado obtenga información útil para contrastar sus hipótesis, así como sus concepciones sobre la idea de fósil y fosilización.

Sesión 2.

Duración: 2 horas – 4 horas (dependiendo el contexto concreto)

Lugar: Emplazamiento con fósiles diversos.

Actividad 2: Recopilando información sobre los fósiles.

Organizamos una salida del centro escolar, planteada para la visita a algún lugar con presencia relativamente abundante de fósiles (centros universitarios o de investigación con laboratorios o departamentos de paleontología, aulas-museo de Institutos de Educación Secundaria o cualquier lugar donde haya alguna colección de fósiles significativa³). Esta fase de la propuesta requerirá de conocimientos notables acerca de los fósiles que podamos encontrar, por lo que puede ser interesante que sea apoyada por personal especializado, con capacidad de atender a las demandas de información que

³En el caso particular de Granada, algunos ejemplos podrían ser las aulas-museo del IES Padre Suárez o del departamento de Estratigrafía y Paleontología de la Universidad de Granada (UGR).

sean requeridas durante el proceso o, en su lugar, que vaya precedida de una formación suficiente, previa a la intervención, por parte del docente.

El alumnado debe tener la oportunidad de entrar en contacto con diferentes tipos de fósiles, algunos de ellos muy diferentes al planteado inicialmente (la mandíbula encontrada) y que incluso encajan peor con los modelos conceptuales de fósil y fosilización que hayan sido explicitados al final de la sesión anterior. La información interpretativa acerca de estos fósiles deberá ser aportada al alumnado, ya sea mediante explicaciones o fichas interpretativas, durante el periodo de visita y contacto con los diferentes tipos de fósiles. Por lo tanto, sería importante que el alumnado entrara en contacto con variados tipos de piezas, que favorezcan el marcado contraste con las concepciones iniciales esperadas, tales como:

1. Fósiles de moluscos u otros invertebrados.
2. Fósiles vegetales (algas o plantas vasculares).
3. Icnofósiles (estructuras fósiles que muestran algún rasgo de actividad o patrón de comportamiento de un animal dado).

Una vez que hayamos llegado, realizamos una explicación introductoria acerca de lo que podemos encontrar en el lugar, destacando aquellos ejemplares más comunes o que consideremos relevantes por su fácil comprensión. En esta situación, destacaríamos como especialmente valiosa la presencia de alguna persona especializada, con capacidad de aportar información interesante acerca de los fósiles presentes en el lugar o, en caso de que no fuera posible, la presencia de tarjetas con información descriptiva y fácilmente interpretable.

Tras la explicación introductoria mencionada, separamos al alumnado en los grupos que fueron creados en la sesión anterior y les aportamos una ficha a cada grupo, para que la rellenen con la información que recaben sobre cinco fósiles de los que haya en el lugar. Las fichas contendrán cuatro apartados diferenciados, con espacio para escribir en cada uno de ellos sobre los siguientes aspectos (Anexo 1):

- Organismo (tipo de ser vivo al que pertenece).
- Tipo de fósil (parte del organismo o actividad reflejada).
- Periodo/os y época/s geológica/s en la que vivió.
- Proceso de formación.

Una vez concluida la visita, puede ser de utilidad que el docente tenga localizado lugares (construcciones urbanas, por ejemplo), en el camino de vuelta al centro escolar, donde puedan verse fósiles. Incluso puede plantearse de una forma no anunciada para el propio alumnado, simulando un hecho fortuito, a modo de un nuevo reto que conduzca a otro descubrimiento (el docente puede comentar a un alumno, “Mira, ¿has visto eso que hay en esa pared?, ¿qué puede ser?, acerquémonos a verlo detenidamente”). En cualquier caso, se puede incidir en la idea de que los fósiles están presentes en muchos de los espacios donde vivimos y su localización no solo se limita a espacios muy concretos y puntuales (Figura 4.2.).

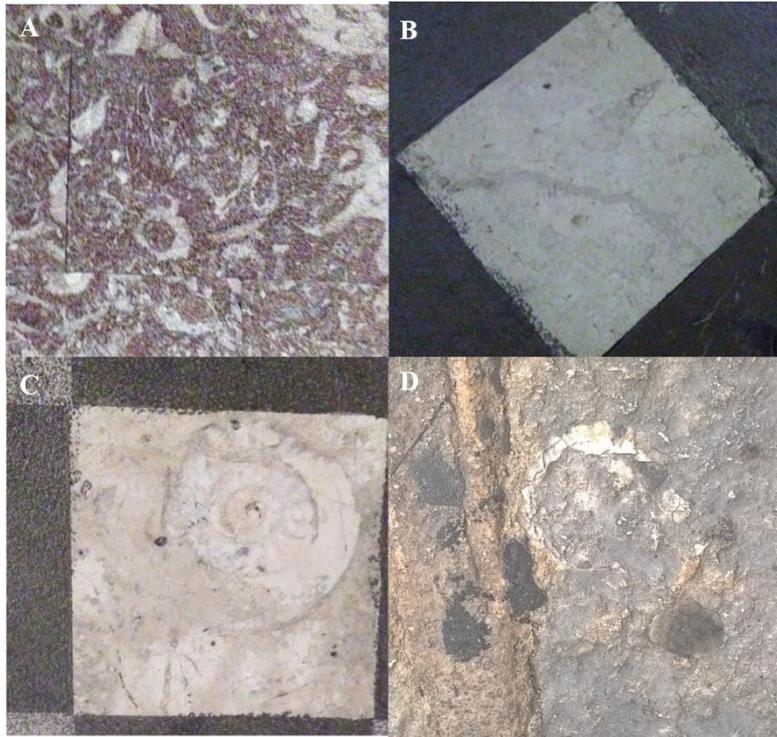


Figura 4.2. Algunos ejemplos de restos fósiles que pueden encontrarse en construcciones humanas y que, por tanto, pueden ser aprovechados con fines educativos. A: Fósiles de bivalvos rudistas (pavimento de la Plaza del Carmen, Granada). B: Fósil del género *Turritella* (pavimento en C/Reyes Católicos, Granada). C: Fósil de ammonite (pavimento en C/Reyes Católicos, Granada). D: Fósil del género *Pecten* (escalones de entrada a la Facultad de Ciencias de la Educación, de la Universidad de Granada).

Justificación.

Una vez que el alumnado ha interpretado la situación particular presentada, mediante la puesta en juego de sus conocimientos y concepciones previas, así como ha explicitado sus hipótesis de forma argumentada acerca de la identidad de la estructura encontrada, realizamos una visita a un lugar en el que puedan entrar en contacto con fósiles de diferente naturaleza. Nuestra intención es que la observación de fósiles diversos y la correspondiente toma de anotaciones informativas sobre éstos sirva como punto de partida para la realización de un contraste de ideas entre lo planteado inicialmente (al finalizar la anterior sesión) y la información nueva obtenida.

Por lo tanto, pretendemos que esta actividad sirva para emular un proceso de obtención de

datos o información relevante para contrastar las hipótesis planteadas inicialmente. Siguiendo a Martínez-Chico (2012 citado en Martínez-Chico, 2013), deben buscarse pruebas que permitan contrastar el modelo o explicación inicial aportada por el alumnado y que estos datos pueden provenir de experimentos propios o de otras fuentes de información (tal y como sería en nuestro caso). Esta información queda plasmada por escrito a través de las fichas utilizadas para la anotación de datos sobre algunos de los fósiles, tal y como se comentaba anteriormente.

Consideramos que la anotación de información concerniente a los cuatro aspectos mencionados (organismo, características del fósil, periodo o época geológica en la que vivió y proceso de formación) es de gran utilidad para la finalidad planteada. Por un lado, la anotación del tipo de organismo “protagonista” (a nivel de especie, género o el rango que se considere oportuno) de los diferentes fósiles nos permitirá recopilar información acerca de la interesante diversidad de organismos que podemos encontrar en el registro fósil (mucho más allá de restos óseos o posibles huellas); por otro lado, las características del fósil permiten una interpretación de lo que han podido ver (algo que, en muchas ocasiones, es difícil de apreciar y requiere de una interpretación desde la perspectiva especializada), de tal forma que refuerzan la información obtenida en el anterior dato, al poner de relieve nuevamente la diversidad de fósiles, además de facilitar la inclusión de marcas de actividad (icnofósiles) entre los posibles tipos. A continuación, incluimos la anotación del intervalo de tiempo (era/s o periodo/s geológicos) al que corresponderían los organismos fosilizados, información relevante para la certificación de que se trata de organismos que vivieron muchos años atrás y, principalmente, porque será información relevante para posteriores sesiones en las que trabajemos el concepto de “tiempo” en geología. Finalmente, la inclusión de información relativa al proceso de formación de los diferentes fósiles, entendemos que debe realizarse a través de una descripción sencilla, pero realista, del proceso en cuestión, algo para lo que será útil el apoyo recibido por el docente o el personal asesor del lugar. En este último caso, pretendemos que la información recopilada para cada uno de los fósiles sea fuertemente coincidente, en la que se recalquen algunos de los procesos geológicos inseparables del proceso de formación de un fósil y sobre los que los alumnos muestran fuertes carencias al explicitar sus concepciones previas, tales como el origen de las rocas sedimentarias, los procesos de diagénesis o la importancia del factor tiempo (Lillo, 1994; Lillo, 1995; Pedrinaci, 1996).

En la siguiente sesión, regresamos al aula escolar e intentaremos utilizar los recursos obtenidos para obtener una construcción del concepto fósil fundamentada en datos reales y partiendo de las concepciones iniciales que poseía el alumnado.

Sesión 3.

Duración: 1 hora – 2 horas.

Lugar: Aula del centro escolar.

Actividad 3: Contrastando ideas sobre la identidad de la estructura encontrada.

Para empezar esta actividad, comenzamos estructurando nuevamente los grupos de trabajo que fueron configurados en un principio y de los cuales se han generado documentos propios. Una vez separados y colocados en disposición adecuada para su interacción, se les devuelve el material realizado en la primera actividad (explicaciones iniciales redactadas y dibujo representativo del proceso de fosilización), así como se les pide que saquen la ficha informativa que rellenaron durante la sesión anterior.

Durante un tiempo prudente, cada grupo se convertirá en un espacio de debate e intercambio de opiniones en torno al grado de adecuación o coincidencia entre las explicaciones que vertieron inicialmente y las que se derivan de lo comprobado y anotado a partir de la sesión anterior. Es decir, se trata de que el alumnado se introduzca en un contexto de contraste de información entre lo concebido inicialmente con respecto a la idea de fósil y las posibles contradicciones que puedan surgir al realizar la comparativa con la información recopilada en las fichas rellenadas, a partir de fósiles reales.

Una vez concluido el tiempo designado para realizar la revisión, a la luz de los datos o información obtenida, de las concepciones iniciales, cada grupo expondrá brevemente sus conclusiones acerca de la idoneidad del ajuste de su modelo inicial con la información recabada, de primera mano, durante la sesión anterior. En estas situaciones puede ser interesante que exista la posibilidad de que el resto del alumnado pueda tener momentos de intervención, en los que muestren su acuerdo o desacuerdo con lo expuesto por sus compañeros.

Finalizadas las breves exposiciones, se plantea un proceso dialógico en el que el docente interviene de una u otra manera, en función del éxito que haya podido tener el procedimiento anterior en la adopción, por parte del alumnado, de modelos o conceptos de fósiles más adecuados y cercanos a la idea científica de referencia. En este sentido, el docente debe plantear preguntas significativas y relevantes, las cuales dependerán estrechamente de las explicaciones aportadas por el alumnado en esta actividad, tras revisar sus concepciones iniciales con la información obtenida. Estas preguntas nunca serán preguntas cerradas, definitivas y de respuesta única, sino que tomarán la forma de preguntas reformuladas, en una situación de devolución continua, de cara a conducir el proceso hacia la creación de un consenso general en torno al concepto de fósil y el proceso de fosilización.

Algunas posibles preguntas, dependientes de la persistencia de ideas o concepciones erróneas, podrían ser, a modo de ejemplo:

- Comentáis que los fósiles se forman sobre todo a partir de restos de huesos, pero *¿Sólo había fósiles de organismos con huesos o había de otros tipos?, ¿Cuáles?*
- Insistís en que los fósiles son restos enterrados, pero *¿sólo estaban enterrados los restos que*

visteis, o algo más?

- *¿Qué significa que parecía que los fósiles estaban incrustados en la roca? ¿Estaba antes la roca y luego se formó el fósil?*
- *Entonces, si decís que los fósiles se forman conjuntamente con la roca en la que se encuentra ¿Lo que estáis viendo es el propio organismo “atrapado” en la roca, o es algo diferente?, ¿de qué material podrían estar hechos los fósiles?, ¿qué relación hay entre el material que forma el fósil y el resto de la roca?*
- *Pensáis que los fósiles se pueden formar porque organismos quedaron atrapados en lava volcánica, pero ¿Cómo era el proceso de formación de los diferentes fósiles que visteis?, ¿Cuál pensáis que puede ser la temperatura a la que está la lava?, ¿Podrían conservarse restos de organismos fácilmente si les cae roca fundida encima?*
- *¿Creéis que puede haber fósiles de organismos recientes, es decir, que hayan muerto hace unos 20 años, por ejemplo? ¿entonces siempre que hablemos de un fósil, nos referimos a restos de un organismo que vivió hace millones de años?, y las conchas que nos encontramos en la playa, ¿qué son?, ¿qué tendría que ocurrir para que una concha se convirtiera en fósil?*

Son muchas las preguntas que pueden surgir en el contexto de una situación así, por lo que las opciones de diferentes reformulaciones son muy elevadas.

Una vez concluido el proceso dialógico comentado, en función de que se vayan aclarando aspectos que pudieran resultar aún confusos, que el alumnado intercambie opiniones de diferente tipo y que se manifieste una construcción de modelos más correctos que los manifestados en un principio, el docente retomará la situación inicial de la que partíamos y que ya había sido apropiada por el alumnado en un principio:

- *Teniendo en cuenta todo lo que habéis visto y me habéis explicado acerca de los fósiles, ¿creéis que lo que encontró nuestro amigo podía ser un fósil?*
- *¿Consideráis que la descripción de “mandíbula insertada en plena roca” que nos hacía nuestro amigo, puede corresponderse con algún fósil que haya encontrado?*
- *En caso de que sea un fósil, ¿Qué pensáis acerca del animal a partir del que se formó?, ¿puede proceder de un animal que podamos encontrar en la actualidad en aquella zona?*
- *¿Qué pensáis de la roca en la que apareció?, ¿qué tipo de roca sería y por qué?*

- *¿Creéis que sería posible averiguar algo más acerca de qué especie de animal era o algún dato sobre ese individuo en concreto?*

Justificación.

Con esta actividad se pretende cerrar el proceso investigativo o de confirmación de hipótesis, tanto de la cuestión central como, sobre todo, de las cuestiones auxiliares o complementarias que fueron surgiendo, en torno al concepto de fósil y fosilización. Por lo tanto, en ella se intenta representar un contexto de análisis e interpretación de información, como medio para contrastar los modelos iniciales surgidos en la primera actividad. Asimismo, se establecen mecanismos o estrategias conducentes a permitir la comunicación y compartición de ideas y conclusiones, de cara a favorecer el contraste de opiniones entre el alumnado. Estos dos aspectos son esenciales a la hora de emular situaciones propias de contextos indagativos (Martínez-Chico 2012 citado en Martínez-Chico, 2013). Además, de esta forma intentamos crear situaciones en las que la articulación del lenguaje ocupe un papel central, intentando no desatender las prácticas sociales que, comúnmente, se asocian a los contextos científicos reales, esenciales para la construcción de conocimiento (Zemba-Saul, 2008 citado en Martínez-Chico, 2013).

El papel del docente a lo largo de esta actividad destaca por seguir dos vertientes diferenciadas. Por un lado, se plantea una tarea que el alumnado debe realizar de forma interactiva, sin intermediación directa del profesor; de esta forma, conseguimos que el alumnado realice un ejercicio de reflexión comunicativa en torno al grado de coincidencia o discrepancia de sus modelos iniciales con el que se deriva de la información obtenida durante la visita de la sesión anterior. Esta cuestión es importante, puesto que nos permite analizar las destrezas metacognitivas del alumnado (y al alumnado entrenarlas), es decir, su capacidad de encontrar incongruencias entre lo que se supone que ya sabe e incluso es capaz de reproducir y otros modelos o conceptos previos, que contengan diferentes imprecisiones o errores que contradigan a dichos conocimientos. Por otro lado, tras la exposición de sus conclusiones, el docente toma un papel activo y regulador, planteando cuestiones mediadoras que permitan (o al menos intenten) la reformulación de ideas o conceptos previos que se muestren tan arraigados que incluso se mantengan tras el análisis de la información. En este sentido, destacamos la importancia del papel activo, creativo y comprometido del docente en su papel de andamiaje para la reconstrucción de nuevos modelos (Couso, 2014).

Sesión 4.

Duración: 1 hora – 2 horas.

Lugar: Aula de ordenadores del centro escolar – Aula del centro escolar.

Actividad 4: El “año geológico”

Para empezar esta actividad es necesaria la disponibilidad de ordenadores. Dividimos al alumnado en grupos desde el inicio y a cada uno de ellos le aportamos una tabla cronoestratigráfica, en la que se muestre la escala de tiempo geológica reducida a la unidad geocronológica de “época” (Anexo 2). Tras una breve introducción por parte del docente, en la que se explicará someramente las claves para la interpretación de esta herramienta, realizamos una serie de cuestiones que cada grupo deberá intentar resolver con la información contenida en ésta. Estas cuestiones pueden ser planteadas de forma interrogativa o en forma afirmativa, en cuyo caso cada grupo trabajará para decidir la veracidad o falsedad de las afirmaciones. Asimismo, estas cuestiones harán referencia directa a los fósiles que fueron anotados, por cada grupo, en la actividad 2, contrastando su posible coincidencia con otros organismos o acontecimiento geológico determinado. Algunas posibles cuestiones, planteadas de forma afirmativa para comprobar su veracidad o falsedad, podrían ser:

- *El fósil “X” se corresponde con una especie que se vio fuertemente afectada por la mayor extinción de organismos que ha sufrido la vida terrestre en toda su historia.*
- *El fósil “Y” se corresponde con una especie que pudo servir de alimento a diferentes tipos de aves.*
- *El fósil “Z” se corresponde con una especie que, probablemente, fue una de las presas preferidas por el Tyrannosaurus rex.*

Cada grupo comprobará la respuesta correcta a partir de un proceso de contraste de información, empleando las anotaciones acerca de los diferentes fósiles, de las fichas de las actividad 2, comprobando si podría existir correspondencia temporal con los acontecimientos u organismos referidos en las cuestiones o afirmaciones enunciadas. Para ello, cada grupo realizará búsquedas de información en internet acerca de dichos acontecimientos u origen de los organismos referidos. Cada grupo anotará las conclusiones a las que lleguen, de forma razonada.

Una vez concluida esta parte de la actividad, el alumnado se dirigirá al aula habitual del centro escolar para continuar con la siguiente fase. El docente, tomando el relevo de lo trabajado anteriormente, debe abrir una pequeña puesta en común con el conjunto del alumnado, poniendo de relieve la inmensidad de la escala de tiempo geológica, recalcando la clara separación que existe entre muchos acontecimientos referidos y los fósiles de los que recopilamos información.

A continuación, planteamos la elaboración de un “calendario geológico”, es decir, la representación de la historia geológica, a través de sus principales acontecimientos, en la escala temporal de un año terrestre. Para ello, entregamos a cada grupo un pliego de papel grande (tamaño A2 aproximadamente) y les pedimos que nos dibujen una línea recta que recorra el pliego de papel desde un extremo al otro, así como le pedimos que dividan dicha línea en doce partes diferenciadas. El docente

realizará una breve explicación acerca de la finalidad de nuestra acción, la representación de la historia terrestre en la escala temporal de un año. Las diferentes partes en las que se ha dividido la línea se corresponderán con los distintos meses del año. Una vez que los grupos hayan confeccionado su línea temporal, les pedimos que sitúen en ella, de forma aproximada:

Tabla 4.2. Lista de acontecimientos relevantes que han sucedido a lo largo de la historia de la Tierra. Información para aportar al alumnado.

ACONTECIMIENTO	AÑOS	ACONTECIMIENTO	AÑOS
Formación de la Tierra	4.600.000.000 años	Aparecen los dinosaurios	225.000.000 años
Roca más antigua datada	4.020.000.000 años	Aparecen las primeras aves	160.000.000 años
Bacteria más antigua conocida	3.500.000.000 años	Sucede la extinción del final del Cretácico, que afectó a los dinosaurios y a otros muchos organismos	65.000.000 años
Fósiles reconocibles más antiguos (algas)	3.200.000.000 años	Aparecen los primeros primates	60.000.000 años
Aparecen organismos multicelulares	900.000.000 años	Aparecen los primeros homínidos	4.000.000 años
Aparecen los primeros organismos animales (similares a las medusas)	650.000.000 años	Comienza la Edad de Hielo	1.000.000 años
Aparece los primeros organismos invertebrados con concha	580.000.000 años	Evolucionan los humanos modernos	200.000 años
Aparición de los primeros peces	500.000.000 años	Inicio del Imperio egipcio	5.000 años (año 3.000 a. C.)
Aparición de las primeras plantas terrestres	450.000.000 años	Nacimiento de Jesucristo. Comienzo de nuestro calendario	2.016 años (año 0)
Aparición de los anfibios	360.000.000 años	Comienzo de la Edad Media	1.540 años (año 476)
Aparición de los reptiles	340.000.000 años	Final de la Edad Media	524 años (año 1492)
Sucede la extinción del final del Pérmico, la mayor conocida.	248.000.000 años	El ser humano llega a la Luna	47 años (año 1969)

1. Importantes acontecimientos ocurridos en la historia de la geología (aportados por el docente) (Tabla 4.2.).
2. Fósiles anotados en la actividad 2.

El docente deberá prestar apoyo a los grupos, en caso de que no comprendan la demanda que se les está realizando, proporcionándoles indicaciones guía; por ejemplo:

- Si queremos representar la historia de la Tierra en la escala de un año y sabemos que ésta tiene una edad aproximada de 4.600.000.000 años; *¿Cuántos años corresponderían a un mes de 28, 30 y 31 días?*
- Una vez que conocemos los años que corresponderían a un mes; *¿Cuántos años corresponderían a un día?*
- Una vez que conocemos los años que corresponderían a un día; *¿Cuántos años corresponderían a una hora?*
- Una vez que conocemos los años que corresponderían a una hora; *¿Cuántos años corresponderían a un minuto?*
- Una vez que conocemos los años que corresponderían a un minuto; *¿Cuántos años corresponderían a un segundo?*

Los diferentes grupos irán anotando los distintos acontecimientos sobre la representación gráfica realizada, acompañada de dibujos si es preciso.

Para concluir, el docente abre una puesta en común de ideas con el conjunto del alumnado, en la que intentará poner de relieve la inmensidad del tiempo geológico, claramente visualizado en la analogía realizada. Esto puede hacerse a través de la comparación de la distancia temporal existente entre algunos acontecimientos geológicos clave ya trabajados o mencionados y la mucho menor distancia entre acontecimientos históricos humanos o sociales, considerados en la escala de tiempo común. Finalmente, el docente aporta a cada alumno un “calendario geológico”, como material resultante del trabajo realizado en esta sesión (Anexo 3 y 4).

Justificación

Para finalizar esta fase de la secuencia de actividades, planteamos esta actividad con la finalidad de trabajar el concepto de “tiempo” en geología, empleando los fósiles como recurso para delimitar e integrar la inmensidad del tiempo geológico, explicitando el contraste con la escala de tiempo que utilizamos habitualmente en nuestra propia retroproyección histórica. Se trata de un concepto

central en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra (Dodick y Orion, 2003), así como uno de los que más dificultades acarrea para el alumnado, a la hora de intentar comprenderlo y, más aún, aplicarlo de forma coherente a los razonamientos en el campo de la geología (Cheek, 2013; Hidalgo y Otero, 2004; Pedrinaci, 1996; Sequeiros, et al., 1996; Trend, 2001).

Los fósiles utilizados en la actividad 2 nos sirven como elemento de conexión con la historia geológica y la noción de tiempo en geología. Mediante esta aproximación inicial abordamos algunos de los componentes del concepto complejo de “tiempo geológico”, tal como lo desarrolla Sequeiros et al. (1996), como son el conocimiento de la edad de la Tierra, la cronología de acontecimientos relevantes o la distinción de unidades de tiempo geológicas (eones, eras, periodos y épocas); todo ello, de forma contextualizada con respecto a los fósiles trabajados y utilizados como referencia informativa en la actividad anterior, recalcando que las divisiones del tiempo contempladas se han realizado precisamente en función de los fósiles encontrados, correspondientes a dichos periodos. Asimismo, esta parte de la actividad nos sirve para comenzar a promover la distinción, en base a su duración, entre magnitudes temporales frecuentemente empleadas en la descripción de procesos que ocurren a escala geológica.

En la segunda fase de la actividad continuamos trabajando la noción de tiempo en geología, mediante la atención a otros componentes de dicho concepto, tal y como lo entienden Sequeiros et al. (1996). En este caso, nos centramos en que el alumnado sitúe diferentes acontecimientos relevantes en la historia de la Tierra en una línea temporal, además de intentar emplear una estrategia didáctica que nos permita explicitar la duración de muchos de los procesos que son narrados en clave de historia geológica (escala de tiempo geológica), en contraste con aquellos que son narrados en clave de historia humana (escala de tiempo convencional); esto último resulta especialmente visual cuando comparamos, por ejemplo, el tiempo que permanecieron los dinosaurios sobre la Tierra y la historia humana. Por otro lado, esta fase de la actividad está muy enfocada a atender a otro de los componentes del concepto de tiempo geológico en los que el alumnado suele manifestar más carencias, como es la integración de la noción de duración y la adecuada comprensión y distinción a la hora de hablar de magnitudes temporales determinadas (Cheek, 2013; Hidalgo y Otero, 2004; Pedrinaci, 1996; Trend, 2001). La especial atención a este último aspecto la fundamentamos en el uso de la analogía de la historia terrestre integrada en el calendario anual. El empleo de analogías ha sido ampliamente puesto en valor en el campo de la didáctica de las ciencias, tanto para trabajar conceptos de naturaleza abstracta, en general (Fernández et al., 2003), como para tratar la noción de tiempo en geología, en particular (Alegret et al., 2001; Brusi et al., 1995).

Finalmente, destacamos el desarrollo de la actividad mediante la estructuración de grupos de discusión, de cara a que los conocimientos sean construidos a través de procesos comunicativos y basados en la interacción entre el alumnado. Asimismo, consideramos interesante el uso de medios digitales para la búsqueda y gestión de información.

Finalmente, una vez concluida esta actividad, retomamos la cuestión que habíamos planteado inicialmente, incidiendo en aspectos importantes y que pueden ser contestados, acerca de la posible identidad fósil de la estructura encontrada, así como planteamos nuevos interrogantes que nos permitan abrir nuevas vías de exploración e indagación.

Sesión 5.

Duración: 1 hora.

Lugar: Aula de ordenadores del centro escolar.

Actividad 5: ¿Qué nos dice nuestro fósil?

Una vez aceptada la idea de que lo que se ha podido encontrar en aquella roca era un fósil correspondiente a una pieza mandibular, comenzamos a abrir nuevos interrogantes con respecto a la posible identidad de dicho fósil. Para comenzar, planteamos el supuesto de que el fósil fuera extraído y limpiado en un instituto de investigación de paleontología, algo que puede ser introducido por el docente, quien dará una pequeña explicación, con nociones básicas acerca de cómo transcurre dicho proceso. De esta forma, insistimos y recordamos la idea, ya trabajada anteriormente, de fósil como componente integrado en la roca y no como un mero resto orgánico duro enterrado, así como nos permite subrayar la importancia del avance tecnológico en el avance de la ciencia. Una vez concluida la breve explicación, mostramos una foto de la mandíbula (en este caso, hemimandíbula derecha) (Figura 4.3.). En nuestro caso, se trata de un fragmento de mandíbula, en la que faltan algunas de las piezas dentarias, algo que nos permite poner de manifiesto la dificultad de encontrar ejemplares ideales para trabajar con ellos y cómo eso puede repercutir a la hora de estudiar los fósiles en la realidad del contexto científico, obligándonos a trabajar con las piezas disponibles. Por lo tanto, mostramos una foto de la hemimandíbula, así como diferentes imágenes en detalle de los dientes visibles.

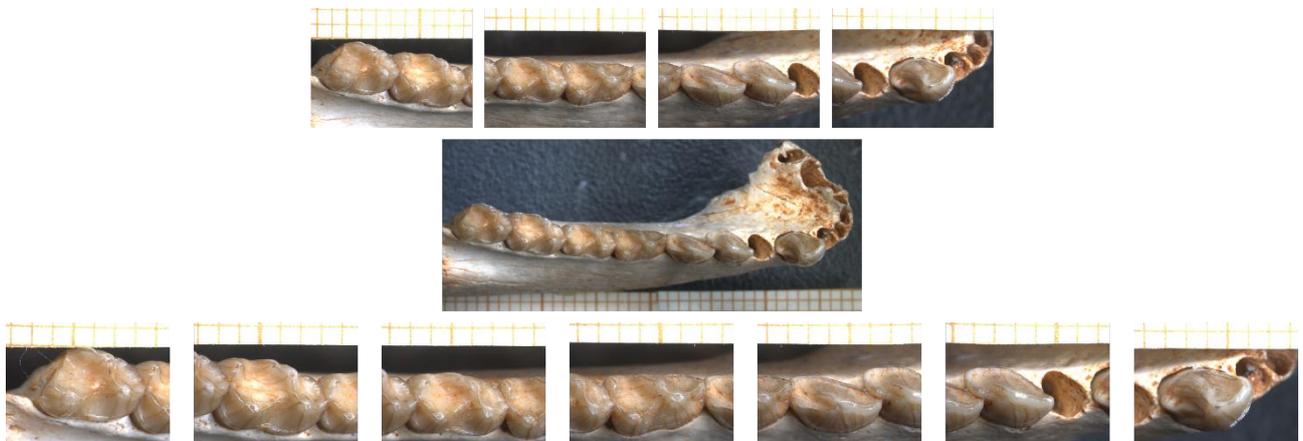


Figura 4.3. Fotos del fósil problema (hemimandíbula derecha de *Adapis parisiensis*). En la parte central puede apreciarse una foto del ejemplar entero; en la parte superior e inferior hemos incluido fotografías de los diferentes dientes con mayores aumentos, pues la apreciación de los detalles es un aspecto de gran importancia en nuestra secuencia didáctica. Sería necesario mostrar las fotos con un tamaño mayor.

Una vez mostradas las fotos, planteamos alguna pregunta que aluda a la posibilidad de obtener información sobre el animal al que pertenecía la mandíbula. De esta forma, se pretende crear una nueva situación problemática que implique continuar profundizando en el elemento central con el que comenzamos la secuencia:

- *¿Qué pensáis acerca de la información que podemos obtener observando esta mandíbula?*
- *¿Pensáis que podemos llegar a averiguar algo sobre el animal al que pertenecía esta mandíbula simplemente analizándola visualmente?*
- *¿En qué nos podríamos fijar?*

Dividimos al alumnado en grupos de trabajo de 4-5 personas (pueden mantenerse los grupos ya configurados en las sesiones anteriores o cambiarlos) para continuar con la actividad. Cada uno de los grupos trabajará por separado para intentar sacar alguna conclusión acerca de qué puede llegar a decirnos la mandíbula sólo a través de su observación. El docente debe adoptar un papel activo, realizando preguntas guía, asesorando acerca de las conclusiones a las que los grupos vayan llegando a través de su discusión. Estas preguntas deben concretar las demandas que pretendemos hacerle al alumnado:

- *¿Qué principales grupos de animales tienen dentición?*
- *¿Hay diferentes tipos de dentición en unos y otros?, ¿Cuál es esa diferencia?*
- *Con las piezas que tenemos disponibles en nuestro fósil, ¿Podemos decir que tenga algún tipo de dentición concreta?, ¿Por qué?*
- *¿Hay diferencias marcadas entre unos dientes y otros?*
- Durante esta fase mostramos fotografías de denticiones de diferentes grupos de vertebrados, en las que se aprecie bien la distinción entre la dentición homodonta, propia de vertebrados no mamíferos y que tengan dentición (condictios, osteíctios, anfibios y reptiles), y la dentición heterodonta, propia de mamíferos (Figura 4.4.)
-
- La conducción del proceso debe implicar el llegar a conclusiones básicas y sencillas acerca del grupo taxonómico del animal en cuestión. Así, podemos decir que la intención es llegar a dos conclusiones claras y subsecuentes:



Figura 4.4. Ejemplos de fotografías de denticiones de diferentes grupos de vertebrados. Su uso puede servirnos para poner de relieve la distinción entre dentición homodonta y heterodonta, en relación a los grupos que poseen un tipo u otro (solo los mamíferos poseen dentición heterodonta, como ocurre con nuestro fósil).

1. Debe ser un animal vertebrado.

La conclusión de que se trata de un vertebrado se deriva del hecho de que la dentición es una característica que aparece exclusivamente en este taxón. Dentro de éste pueden ser referidos los diferentes grupos que engloban los “peces”, anfibios, reptiles o mamíferos.

2. Debe ser un animal mamífero.

La deducción de que se trata de un mamífero se produce a partir de la generalidad de la dentición heterodonta en mamíferos (presenta más de una morfología dental, con diferenciación de incisivos, caninos, premolares y molares), en contraposición a la dentición homodonta (presenta una sola morfología dental) en los otros grupos que presentan dentición. En nuestro caso, a pesar de la falta de bastantes piezas dentales, es bastante visible la presencia de una dentición heterodonta, pues se observan molares, premolares y un canino bien diferenciados, y la forma de los alveolos restantes nos permite deducir la presencia de dos incisivos en la parte anterior. Asimismo, los molares se aprecian notablemente complejos en su forma, al contrario que en el caso de los premolares.

Una vez concluido que, con total seguridad, el fósil encontrado debe corresponder a un mamífero, continuamos formulando preguntas que vayan referidas a otras posibles características a averiguar del animal, profundizando progresivamente. Así, formulamos una cuestión acerca del tipo de alimentación que podía tener:

- *¿Pensáis que los dientes que estamos viendo podrían darnos información acerca del tipo de alimentación que tenía nuestro animal?*
- *¿Creéis que hay alguna relación entre la forma de los dientes y el tipo de alimentación?*

- Como veis, la mandíbula que tenemos carece de muchos dientes y sobre todo presenta molares y premolares; *¿Creéis que pueden ser suficientes para intentar sacar alguna conclusión clara sobre el tipo de alimentación?*

En este punto, proponemos al alumnado a que, de forma conjunta, digan lo que piensan acerca de estas cuestiones, emitiendo sus hipótesis, de forma razonada en torno a cómo piensan que serán las piezas dentales, en general, y los molares, en particular, de mamíferos carnívoros, herbívoros y omnívoros. Mediante un breve debate, se establecerá una hipótesis conjunta y consensuada al respecto. Si se considerara necesario, podríamos introducir elementos para facilitar la reflexión en torno a esta cuestión. Por ejemplo:

- *¿Qué función pensáis que puede ser especialmente importante en la masticación de mamíferos carnívoros?*
- *¿Os habéis fijado alguna vez en cómo mastica vuestro perro o gato cuando le dais algo de carne?, ¿y en su dentición?, ¿cómo es?*
- *¿Os habéis fijado alguna vez en cómo son los dientes de una cabra, un caballo, un conejo o cualquier otro animal herbívoro?*
- *¿Qué tipo de alimentación tenemos los seres humanos?, ¿qué función cumplen nuestros molares en el proceso de alimentación?*

Justificación.

Con esta actividad comenzamos a abrir nuevos interrogantes en una dirección diferente a la que tomamos inicialmente, al comienzo de la propuesta de intervención. Pretendemos mantenernos en una línea de trabajo que mantenga a la historia y pregunta inicial planteada, las cuales se mantienen como hilo conductor subyacente al conjunto del proceso.

De cara a seguir hablando del fósil de la mandíbula encontrada y utilizarlo como recurso para continuar con la secuencia de actividades, es necesario aclarar que el fósil debió ser extraído y “limpiado”, algo que nuevamente nos ofrece la posibilidad de, a la vez que explicamos algunos aspectos clave de la forma en la que este tipo de procesos se hacen, recordar que es un paso necesario en tanto que el fósil está íntimamente ligado a la roca a la que pertenece (no es un simple resto enterrado).

Recurrimos a fotografías para mostrar el fósil, pues se trata de un recurso que nos permite utilizarlo como objeto de estudio de una forma satisfactoria para las pretensiones marcadas en este trabajo. De esta forma, se enseñan fotos que incluyen la pieza entera, así como otras que amplían

diferentes partes. Por otro lado, aunque la pieza utilizada como modelo para nuestra actividad se encuentra en un estado excelente de conservación, podemos ver que le faltan varias piezas dentales, algo que recalcamos como uno de los aspectos inherentes al trabajo en el campo de la paleontología, es decir, se trabaja con lo que se ha podido conservar y ha llegado hasta nuestras manos.

Proponemos realizar nuestra nuevas inferencias apoyados en la exposición de fotos dónde se aprecien diferentes tipos de dentición y los distintos grupos de animales asociados a éstos. Además, el docente debe tener un papel activo, ejerciendo de facilitador de preguntas mediadoras que permitan guiar el procedimiento a seguir en los diferentes grupos que se hayan establecido (Márquez et al., 2004; Márquez et al., 2005; Roca, 2005; Couso, 2014). Por lo tanto, las conclusiones son compartidas y consensuadas entre el conjunto del alumnado de una forma clara, incorporando nuevos datos que nos aporten información relevante sobre el fósil problema, de cara a continuar con la propuesta.

Finalmente, esta sesión concluye con el inicio de un proceso de indagativo nuevo, en los términos y pasos expuestos por Martínez-Chico (2012 citado en Martínez-Chico, 2013), que continuará su desarrollo durante la siguiente sesión. Es decir, se plantean nuevos interrogantes o cuestiones investigables y que tengan sentido desde un punto de vista científico (¿Puede la dentición aportarnos información acerca del tipo de alimentación de este animal?, ¿Pueden los molares y premolares aportarnos información valiosa en ese sentido?) (Couso, 2014), así como se abre un proceso de propuestas de hipótesis, en la que el alumnado realiza sus proposiciones de forma fundamentada. Remarcamos que en el transcurso de esta última etapa puede requerirse la intervención activa del docente, ya que creemos que el uso de estrategias discursivas para la explicitación de hipótesis relacionadas con las características de la dentición en animales, según su tipo de alimentación, puede conllevar algunas dificultades.

Sesión 6.

Duración: 1 hora.

Lugar: Aula del centro escolar.

Actividad 6: ¿De qué se alimentaba nuestro animal? Buscando y analizando pruebas.

Comenzamos esta actividad retomando el proceso ya empezado durante la sesión anterior. Una vez establecidas las hipótesis en torno a los patrones de dentición esperables en correlación con las diferentes tipos de alimentación (carnívora, herbívora u omnívora), comenzamos esta actividad dividiendo nuevamente al alumnado en los grupos establecidos durante la anterior sesión. A cada uno de estos grupos se les aportarán ficha en las que aparezcan fotografías de denticiones de mamíferos comunes actuales, sin los nombres de éstos, en las que podamos encontrar ejemplos de los cuatro tipos de dentición diferentes:

1. Secodonta.

Propia de mamíferos con alimentación carnívora. Dientes puntiagudos y con cúspides apuntadas, adecuados para desgarrar y masticar carne.

2. Selenodonta.

Propia de mamíferos herbívoros que mastican moviendo la boca de un lado hacia otro. Molares que suelen presentar repliegues de esmalte en forma de media luna (importantes para masticar alimentos abrasivos, como la hierba o las hojas) y orientados paralelamente al eje longitudinal de la mandíbula (de adelante hacia atrás).

3. Lofodonta.

Propia de mamíferos herbívoros que mastican moviendo la boca de delante hacia atrás. También presentan crestas de esmalte marcadas en los molares, pero orientadas perpendicularmente al eje longitudinal de la mandíbula (de lado a lado).

4. Bunodonta.

Propia de mamíferos omnívoros. Molares con cúspides en forma de tubérculo y redondeadas. Adecuados para la trituración de los alimentos de distinto tipo.

En nuestra propuesta, aportamos fichas con doce fotografías (Figura 4.5.) donde están representadas cada tipo de dentición (centrándonos en los molares, pues serán el tipo de pieza que utilizaremos en nuestra comparación ulterior para identificar el tipo de alimentación que tenía nuestro animal fósil); tres fotografías de animales con dentición secodonta (lobo, jineta y marta), selenodonta (corzo, oveja y gacela), lofodonta (castor, lirón y chinchilla) y bunodonta (cerdo, oso y humano) (Anexo 5, 6 y 7). En caso de que el centro escolar disponga de mandíbulas reales de alguna especie no aportada en nuestra propuesta (de animales comunes como perro, gato, conejo, cabra o caballo), consideramos positivo que puedan ser utilizadas de forma equivalente, mejorando así la capacidad de identificar las características particulares de cada tipo de dentición.

Una vez repartidas las fichas, pedimos al alumnado que, de forma interactiva y mediante consenso, intenten agrupar los diferentes tipos de dentición, de forma justificada, en función del tipo de alimentación que ellos inducen que debería tener cada ejemplar. Posteriormente, cada grupo explicará los criterios que ha seguido a la hora de establecer sus hipótesis al respecto, comunicando y confrontándolas con las del resto de grupos.



Figura 4.5. Fotografías de denticiones de especies actuales. En algunos casos solo se aprecian molares, que son las piezas de interés para nuestra propuesta. Todos estos ejemplares son incorporados en formato ficha en los anexos 5, 6 y 7, tal y como consideramos que podrían ser de utilidad para su uso didáctico. Los ejemplares mostrados son: A. Chinchilla; B. Marta; C. Oveja; D. Jineta; E. Lirón; F. Ser humano; G. Oso; H. Gacela; I. Lobo; J. Cerdo; K. Castor; L. Corzo.

Justificación.

El procedimiento planteado en esta actividad supone la continuidad del proceso indagativo abierto en la actividad anterior. Entendemos que el inicio de una actividad como esta podemos considerarlo como una aplicación práctica de la metodología científica, en tanto que su diseño se corresponde con una aproximación actualista (Pedrinaci, 1992), frecuente en el marco de las ciencias naturales históricas, como la paleontología (Villagrán, Segovia, y Castillo, 2014). Con ella se pretende que el alumnado sea capaz de delimitar patrones en la morfología dentaria de diferentes especies animales y los relacione con el tipo de alimentación que éstos poseen, así como sean capaz de construir explicaciones fundamentadas en la relación estructura-función de las diferentes piezas dentales. Por lo tanto, esta etapa del proceso podríamos considerarla equivalente a la de búsqueda de pruebas, análisis de datos e interpretación de la información, dirigida a comprobar su posible adecuación al modelo previo establecido por el alumnado en las hipótesis planteadas al final de la anterior actividad (referidas a la forma de los dientes en relación al tipo de alimentación). Así, intentamos ajustarnos a los pasos propios de la metodología indagativa (Martínez-Chico, 2012 citado en Martínez-Chico, 2013).

La aportación de las diferentes denticiones, omitiendo la especie a la que pertenecen, tiene como finalidad la recreación de un nuevo contexto de debate en el que el alumnado elabore y ponga en juego explicaciones propias, fundamentadas en sus concepciones o hipótesis establecidas con anterioridad. De esta forma, se favorece un contexto de simultaneidad entre las fases de emisión de explicaciones o hipótesis fundamentadas en las concepciones propias y la búsqueda de pruebas y análisis de datos; así, consideramos que recreamos un proceso con más elementos propios de la práctica científica real, al no limitarnos a plantear la actividad científica como un procedimiento lineal, sino como un contexto en el que se entrecruzan las diferentes fases que podemos considerar como propias del día a día de la ciencia (Couso, 2014).

Finalmente, la exposición de los criterios elegidos para justificar las hipótesis de cada grupo supone situar al alumnado en contextos de comunicación en intercambio de ideas que favorecen el contraste entre las explicaciones de unos y otros, por mediación del lenguaje (Zemba-Saul, 2008 citado en Martínez-Chico, 2013).

Sesión 7.

Duración: 1 hora – 2 horas.

Lugar: Aula de ordenadores del centro escolar.

Actividad 7: ¿De qué se alimentaba nuestro animal? Obteniendo conclusiones.

Comenzamos esta actividad continuando el proceso abierto durante las dos sesiones anteriores. Durante la sesión anterior, el alumnado ha explicitado hipótesis basadas en sus concepciones propias iniciales y las ha puesto a prueba mediante la observación de denticiones reales de animales actuales. En esta nueva actividad mantenemos la división por grupos realizada en sesiones anteriores y comenzamos aportando los nombres de las diferentes especies, correspondientes a cada una de las mandíbulas mostradas con anterioridad.

Es de esperar que algunas de las especies sean desconocidas para el alumnado, al menos en lo que respecta al tipo de alimentación. Debido a esto, proponemos que realicen una búsqueda de información (ya sea en internet, o mediante otros medios) y anoten las formas de alimentación de cada una de las especies. Una vez hecho esto, les preguntamos hasta qué punto el agrupamiento inicial que realizaron con anterioridad coincide con el agrupamiento resultante, una vez que disponemos de la identidad de cada una de las mandíbulas y hemos corroborado el tipo de alimentación de los animales correspondientes.

A continuación, pedimos a los diferentes grupos que, una vez que conocen el tipo de alimentación de las distintas especies representadas en las denticiones mostradas, intenten buscar patrones que asocien con cierta claridad la morfología dentaria y el tipo de alimentación. De esta forma, el

alumnado debe reinterpretar sus concepciones iniciales, a la luz de la nueva información aportada por la identidad de las denticiones estudiadas. Una vez que hayan discutido y alcanzado un consenso, los diferentes grupos expondrán sus conclusiones, así como las posibles dudas que puedan surgir debido a la no identificación de patrones claros.

Alcanzada esta fase de la actividad, el docente debe mantener una actitud especialmente activa a la hora de plantear posibles preguntas que ayuden, en caso de que fuera necesario, a la percepción e integración cognitiva de los patrones diferenciadores de la dentición molar correspondientes a las formas de alimentación carnívora, herbívora y omnívora. Por ejemplo:

- *¿Habéis visto diferencias claras entre los molares de los animales carnívoros y los de los animales herbívoros u omnívoros?, ¿qué diferencias exactamente?, ¿Pensáis que este tipo de dentición es apropiada para los animales carnívoros?, ¿por qué?*
- *¿Tienen algo en común los molares de animales omnívoros?, ¿Pensáis que cumplirán funciones diferentes a los de los carnívoros?*
- *¿Y en el caso de los herbívoros?, ¿veis alguna característica clave que podamos encontrar en los molares de todos los animales herbívoros que hemos observado?, ¿pensáis que hay alguna diferencia importante entre los dientes de unos herbívoros y otros?, ¿por qué pensáis que los herbívoros tienen esas crestas tan marcadas en los molares?*

Finalmente, una vez que se alcance un consenso en torno a los patrones dentición-alimentación en las mandíbulas observadas, rescatamos la foto del fósil inicial y pedimos a los grupos que intenten sacar alguna conclusión clara en torno al tipo de alimentación que debió tener este animal cuando aún vivía. Al tratarse de una mandíbula primitiva (concretamente, del Eoceno), los rasgos relacionados a la alimentación herbívora se aprecian de una forma menos manifiesta, por lo que es posible que se genere desacuerdo en los diferentes grupos. El docente dará por concluida la sesión una vez que exista acuerdo en torno a la alimentación herbívora del animal del que procede el fósil problema.

Justificación

Esta actividad supone el paso definitivo para sacar conclusiones en relación al tipo de alimentación que debía tener nuestro fósil. Una vez que el alumnado dispone de la información correspondiente a la especie identificativa de cada una de las denticiones observadas, puede involucrarse nuevamente en un proceso de reinterpretación de la información a partir del contraste entre el patrón nuevo (creado a partir del agrupamiento de las denticiones de las diferentes especies, en función de su tipo de alimentación) y el modelo dentición-alimentación construido durante la sesión anterior (cuando se agruparon las diferentes mandíbulas conforme a los patrones percibidos por el propio alumnado). Por lo tanto, introducimos al alumnado en un proceso de análisis de datos e interpretación

de la información que permita dar respuesta a las hipótesis planteadas inicialmente, así como modificar o rechazar el modelo previamente construido (Martínez-Chico, 2012 citado en Martínez-Chico, 2013).

La búsqueda de información, preferentemente mediante medios digitales, actúa como una herramienta auxiliar en el proceso, al permitir conectar al alumnado con conocimientos esenciales, que necesitan para continuar progresando en su trabajo, con la posibilidad de construir significados y nuevos modelos (referidos a la relación dentición-alimentación) mediante un proceso indagativo. Asimismo, la exposición argumentada de las conclusiones a las que llega cada grupo nos permite mantener el contexto comunicativo que hemos pretendido a lo largo de toda la secuencia de actividades.

Finalmente, una vez han interiorizado los patrones dentición-alimentación conforme a las evidencias obtenidas, preguntamos acerca del posible modo de alimentación del animal fósil problema. De esta forma, mantenemos la aproximación actualista en nuestro proceso investigativo (Pedrinaci, 1992) a la hora de validar una inferencia sobre el tipo de alimentación de un animal extinto, tomando como referencia los patrones dentición-alimentación observados en animales actuales.

Sesión 8.

Duración: 1 hora.

Lugar: Aula de ordenadores del centro escolar.

Actividad 8: ¿De qué especie se trata? Resolviendo el misterio.

Esta actividad constituye el final del proceso abierto al inicio de la secuencia, enfocado a la identificación del resto fósil encontrado en una roca. Para comenzar, planteamos al conjunto del alumnado que disponemos de fotos de mandíbulas de especies animales actuales (no extintas), cuya dentición es muy parecida a la del fósil encontrado. Mostramos las fotografías de mandíbulas de tres especies, acompañadas de fotografías de los propios animales, que en nuestra propuesta son *Lemur catta* (lémur de cola anillada), *Eulemur fulvus* (lémur pardo) y *Otolemur crassicaudatus* (gálago de cola ancha) (Anexo 8, 9 y 10). A continuación, planteamos una/s pregunta/s inicial/es que nos permita introducir la noción de parentesco, en el marco evolutivo:

- Cuando decimos que algunas de las mandíbulas más parecidas al fósil encontrado son de las especies mencionadas *¿qué puede significar eso?*
- *¿Qué significa que la especie de nuestro fósil y estas tres estén estrechamente emparentadas?*
- *¿Podemos decir que la especie a la que perteneciera nuestro fósil probablemente fuera muy*

parecida a estas tres especies actuales?, ¿qué queréis decir cuando decís que serían parecidas?, ¿en qué podrían parecerse?

Posteriormente, proporcionamos al alumnado una clasificación taxonómica, con las categorías de mayor significación evolutiva, de las tres especies actuales utilizadas en la comparación con nuestro fósil (Tabla 4.3.), así como un árbol filogenético simplificado del orden “Primates” (Anexo 11) y planteamos una serie de cuestiones para favorecer su correcta interpretación:

Tabla 4.3. Clasificación taxonómica de las tres especies actuales utilizadas para el ejercicio de comparación con el fósil problema. Información para aportar al alumnado.

	<i>Lemur catta</i> (lémur de cola anillada)	<i>Eulemur fulvus</i> (lémur pardo)	<i>Otolemur crassicaudatus</i> (gálago de cola ancha)
Reino	Animal	Animal	Animal
Filo	Cordados	Cordados	Cordados
Clase	Mamíferos	Mamíferos	Mamíferos
Orden	Primates	Primates	Primates
Suborden	Estrepsirinos	Estrepsirinos	Estrepsirinos
Infraorden	Lemuriformes (lemures)	Lemuriformes (lemures)	Lorisiformes (lórises y gálagos)
Familia	Lemuridae	Lemuridae	Galagidae
Género	Lemur	Eulemur	Otolemur
Especie	<i>Lemur catta</i>	<i>Eulemur fulvus</i>	<i>Otolemur crassicaudatus</i>

- *¿Qué dos especies pensáis que están más emparentadas evolutivamente?, ¿por qué?*
- *¿Cuál de las tres especies está menos emparentada con las otras dos? ¿por qué?*
- Hemos dicho al comenzar la actividad que el parecido de las tres mandíbulas con la de nuestro fósil indican un parentesco o cercanía evolutiva elevada entre las cuatro especies. Por lo tanto, *¿a qué nivel coinciden las tres especies actuales y, probablemente, también nuestro fósil?*

Una vez aceptado que, muy probablemente, nuestro fósil corresponda a un primate estrepsirino, dividimos la clase en grupos de trabajo, cada uno de los cuales dispondrá de un ordenador como herramienta para la búsqueda de información, en el marco de un contexto dialógico entre alumnado y docente. Es decir, el profesor debe tomar un papel activo, apoyándose en preguntas mediadoras para la progresión de la actividad.

Por tanto, tomando como referencia las conclusiones obtenidas hasta el momento y la información que proporciona la clasificación de las tres especies actuales, planteamos preguntas que ayuden a reflexionar en torno a la posibilidad de buscar nuevas categorías (grupos taxonómicos de menor

orden) en el que poder situar al animal origen de nuestro fósil, para lo cual tendrán el árbol filogenético aportado como herramienta orientadora. Como ya hemos comentado, este proceso transcurrirá simultaneando el planteamiento de preguntas mediadoras, por parte del docente, con la búsqueda de información, por parte de los diferentes grupos de trabajo:

- *¿Qué tipo de animales son los estrepsirrinos?, ¿hay algún otro grupo, a ese mismo nivel, está estrechamente emparentado con ellos? ¿se trata de primates emparentados estrechamente con el ser humano?*
- Hemos visto que las tres mandíbulas mostradas pertenecen a especies que, dentro de los estrepsirrinos, incorporan a los dos grandes grupos (lemuriformes y lorisiformes) que podemos encontrar en la actualidad, *¿podríamos averiguar si nuestro fósil podría ser de alguna especie que estuviera en alguno de estos dos grupos?*
- *¿Podemos buscar cuál es la distribución geográfica de los lemuriformes (lemures) y lorisiformes (lórises y gálagos), como grupos?*
- *¿Dónde ha aparecido nuestro fósil?, ¿concuera con la distribución geográfica de estos dos grupos?*
- Si los dos grandes grupos de estrepsirrinos no tienen representantes en Europa, *¿qué puede significar eso con respecto a nuestro fósil?, ¿Creéis que podríamos situarlo en alguno de estos dos grandes grupos?, ¿por qué?*
- Si aceptamos que nuestro fósil perteneciera a otro grupo diferente, *¿qué podría haber ocurrido con dicho grupo?*
- *¿Cómo podríamos saber si alguna vez existió otro gran grupo de estrepsirrinos, aparte de los lemuriformes y lorisiformes?, ¿cómo podríamos buscar dicha información?*

Todas estas preguntas representan un posible modelo secuencial, en previsión de las barreras interpretativas que deben ir superándose a la hora de intentar inferir la identificación de nuestro fósil hasta el nivel que sea posible. No obstante, puede haber importantes variaciones, en función de la mayor o menor dificultad del proceso para los diferentes grupos.

Finalmente, con todas las asunciones disponibles y la información que es posible encontrar sin excesiva dificultad, es posible llegar a la conclusión de que nuestro fósil correspondería a un primate estrepsirrino que situaríamos en el grupo (Infraorden) de los Adapiformes, lo cual se sustentaría en un aspecto clave:

- Se trata del único grupo cuya distribución geográfica podría coincidir con el lugar del hallazgo.

Una vez aceptada la idea de que nuestro fósil debió ser un primate estrepsirrino, perteneciente al amplio y extinto grupo de los Adapiformes, así como que sus parientes actuales más cercanos serían los lemures (Lemuriformes), lórisés y gálagos (Lorisiformes), planteamos algunas preguntas que permitan indagar y deducir algo más de información acerca de nuestro animal, empleando los conocimientos que hemos ido obteniendo a lo largo del proceso anterior:

- Teniendo en cuenta que nuestro fósil es un Adapiforme, *¿sería posible obtener información acerca del tiempo que hace que vivió, aproximadamente?*
- El lugar en el que nuestro amigo encontró esta mandíbula, es una amplia extensión donde se alternan matorral y praderas, *¿Pensáis que el paisaje que habría en este lugar cuando nuestro animal vivía sería similar?, ¿hay alguna forma de averiguar algo sobre el paisaje de esta región en aquella época, utilizando los conocimientos que ya tenemos?*
- *¿Qué forma de vida tienen, en general, todos los lemures y lórisés actuales?, ¿hay alguna incongruencia entre la forma de vida que podríamos deducir de nuestro fósil al observar a sus parientes actuales y el paisaje que encontramos en la actualidad en el lugar del hallazgo?*
- *¿Podríamos llegar a averiguar, con los conocimientos e información que manejamos, la especie a la que pertenece nuestro fósil?, ¿por qué?*
- *¿Cuántas especies diferentes de Adapiformes se han descubierto en el registro fósil?*

Proponemos las dos últimas preguntas como una forma de mostrar también la imposibilidad de resolver cuestiones que se escapan a los medios de los que disponemos en un momento determinado. En nuestro caso, sería imposible averiguar la identidad de nuestro fósil más allá de situarlo en el grupo de los Adapiformes.

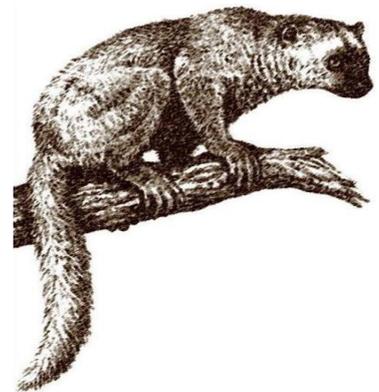


Figura 4.6. Reconstrucción del aspecto físico que pudo haber tenido *Adapis parisiensis*.

Tras una breve intervención del docente, en la que se explican los motivos por los que no podemos llegar a averiguar la especie de la que se trata (falta de información clave de referencia, imposibilidad de comparar con otras mandíbulas de *Adapiformes*, etc.), se aporta al alumnado el nombre de la especie de la que se trata (*Adapis parisiensis*), así como se muestran imágenes de reconstrucciones del aspecto que pudo haber tenido esta especie cuando vivió (Figura 4.6.).

Justificación

Con esta actividad conseguimos concluir la respuesta más satisfactoria posible a la pregunta planteada al inicio de esta propuesta de intervención educativa, es decir, la identificación rigurosa de la “extraña estructura” localizada en una roca.

Consideramos que esta actividad tiene un marcado carácter continuista con respecto a la anterior, en tanto que prosigue el proceso general de profundizar en procedimientos que nos permitan obtener información progresivamente más precisa acerca del fósil problema y su identidad. No obstante, también supone un notable cambio en lo referente al planteamiento metodológico mediante el que el alumnado dialoga con la situación problema. Es decir, llegados a esta fase de la secuencia de actividades, hemos considerado adecuado complementar una metodología, como la seguida hasta ahora, centrada en el proceso indagativo, con otra más enfocada a la búsqueda, selección y gestión de información en el marco de un contexto de discusión y diálogo entre los propios estudiantes y el docente para la construcción de estructuras-modelos mentales coherentes con la información disponible (Márquez et al., 2004; Márquez et al., 2005; Roca, 2005). De esta forma, utilizamos los conocimientos construidos anteriormente, así como la búsqueda de información clave, para avanzar en nuestro propósito inicial. Por tanto, destacamos también la relevancia de la creación de contextos de diálogo, dirigidos a la negociación de significados en la interpretación de la información, como una parte consustancial del proceder científico (Zemba-Saul, 2009).

Incorporamos tres fotografías de denticiones similares a la de nuestro fósil, estableciendo la premisa inicial de que existen evidencias claras en torno a la cercanía evolutiva entre estas tres especies y la representada por nuestro fósil. Esta asunción previa, si bien no surge del análisis comparativo de nuestro fósil con otras mandíbulas (es directamente aportada por el docente), nos sirve como punto de partida plausible para deducir mucha información acerca del fósil problema. Una vez mostradas las fotografías, realizamos una serie de preguntas encaminadas a introducir la noción de parentesco desde una perspectiva evolutiva; consideramos especialmente interesante este planteamiento en tanto que nos permite establecer una línea divisoria clara entre la tradicional identificación conceptual del parentesco con la unidad familiar y su significado desde una perspectiva evolutiva, ya que reforzamos la idea de proximidad evolutiva hablando de especies que han vivido en momentos muy diferentes. Asimismo, este diálogo inicial permite al docente obtener información de relevancia con respecto a las concepciones existentes en el alumnado en torno a lo que significa que unas especies se consideren cercanas entre sí, evolutivamente hablando, puesto que se trata de una noción básica para el adecuado transcurso de la actividad.

Aportamos una clasificación taxonómica de cada una de las tres especies actuales mostradas anteriormente, además de un árbol filogenético que permita dar sentido a la interpretación de dichas clasificaciones. Introducimos el árbol filogenético como herramienta para el trabajo de esta actividad, en consonancia con nuestra pretensión de profundizar en la identificación taxonómica de nuestro fósil a unos niveles en los que no resulta tan útil la comparación visual (al menos para el ojo inexperto) y, sin embargo, sí resulta útil la información disponible en diferentes medios (internet, libros, artículos, etc.). Inicialmente, planteamos algunas preguntas dirigidas a trabajar la interpretación evolutiva de las clasificaciones aportadas, orientándolas coherentemente con la finalidad de que sus respuestas puedan servirnos en nuestra progresión posterior.

Una vez aceptada la identificación de nuestro fósil como *estrepisirrino*, dividimos la clase en grupos nuevamente. Pensamos que es especialmente interesante la formación de grupos en esta fase, ya que a partir de este momento se intensifica la necesidad de búsqueda de información para resolver muchas de las preguntas que puedan surgir. Por lo tanto, podemos decir que el desarrollo de esta fase pivota alrededor de dos procesos básicos, a los que debe atender activamente el docente:

1. Manejo de fuentes de información.
2. Orientación y promoción de la reflexión en torno a la información útil y/o necesaria para progresar hacia nuestra finalidad.

Como ya hemos mencionado en otras actividades anteriores, destacamos la importancia del papel activo del docente (Couso, 2014), quién debe permanecer en constante alerta ante las diversas barreras que pudieran manifestarse en los diferentes grupos durante el proceso de inferencia posterior. En relación a esto, hemos intentado tener en cuenta que los razonamientos exigidos y las conclusiones acordadas, para avanzar en este proceso, deben sostenerse sobre bases rigurosas, pero fácilmente interpretables para un alumnado de último curso de ESO. Además, consideramos importante que, si bien las preguntas representan un instrumento de mediación que sirve para orientar el proceso y promover la reflexión, se favorezca la discusión e intercambio de pareceres entre el alumnado; de esta forma, si bien el docente debe velar por el adecuado transcurso de la actividad, pensamos que no debemos limitar su papel a realizar preguntas y confirmar rápidamente la validez de las conclusiones correctas explicitadas por el alumnado, sino que tiene que promover, previamente a realizar confirmaciones y dar pasos significativos en el avance del proceso, el diálogo entre el alumnado.

Finalmente, una vez hemos encuadrado adecuadamente, desde el punto de vista taxonómico, a nuestro fósil, concluimos la actividad extendiendo el proceso dialógico entre docente y alumnado, rescatando la aproximación actualista (Pedrinaci, 1992), ya trabajada con anterioridad, como método de razonamiento que nos permita obtener más información relevante sobre el pasado de nuestro fósil problema. Además, creemos que es muy importante la explicitación de los límites que, a lo largo de cualquier proceso ligado a la ciencia, nos podemos encontrar a la hora de intentar sacar conclusiones

rigurosas. Todo razonamiento realizado desde una perspectiva coherente con el procedimiento científico debe tener en cuenta los límites existentes para la comprensión de la realidad circundante, en función del contexto y enfoque con el que abordemos su investigación (Sauvé, 2010).

Sesiones 9 y 10

Duración: 2 hora – 4 horas.

Lugar: Aula del centro escolar.

Actividad 9: ¿Cómo ocurre la evolución? Aproximación a la evolución por selección natural.

Comenzamos esta actividad tomando como referencia a algunas especies de lemuriformes (como se ha dicho anteriormente, directamente emparentados con los Adapiformes, grupo al que pertenecía nuestro fósil) para intentar trabajar contenidos relacionados con la evolución y los mecanismos subyacentes.

Dividimos al alumnado en cuatro grupos de trabajo y les entregamos fichas en las que estén representadas cuatro especies de lémures actuales, con algunas características clave acerca de su forma de vida y requerimientos ecológicos (Anexo 12, 13, 14 y 15). En nuestra propuesta hemos seleccionado a cuatro especies que se encuentran en peligro crítico de extinción (Tabla 4.4.).

Una vez entregadas las fichas, el docente planteará una serie de escenarios posibles, diferentes al asociado actualmente a estas especies, de cara a que los diferentes grupos redacten, desde sus concepciones propias acerca de la evolución biológica, qué creen que ocurriría si el entorno en el que se encuentran estas especies de lémures cambiara progresivamente hacia dichos escenarios. Asimismo, se les explicará que deben argumentar sus respuestas, explicando el porqué y el cómo ocurriría lo que piensan. El planteamiento de las preguntas podría ir precedido de una introducción como la siguiente:

Como ya sabéis, uno de los grupos de animales más cercanos evolutivamente al de los Adapiformes (en el que situaríamos a nuestro fósil, extinto en la actualidad) es el de los lémures. Los lémures sólo se encuentran en la isla de Madagascar, situada al sudeste de África, lugar donde llegaron antiguos ancestros evolutivos y dieron lugar, a lo largo del tiempo, a la gran diversidad de lémures que se conocen en la actualidad, con más de 100 especies distintas repartidas por los diferentes territorios de la isla.

En las fichas que os he entregado tenéis a cuatro de esas especies, con alguna información básica acerca de su forma de vida, tipo de alimentación y alguna cosa más. Teniendo en cuenta lo que sabéis sobre evolución, me gustaría que cada grupo me respondiera qué piensa que pasaría si se diera alguna de las siguientes situaciones:

Tabla 4.4. Información básica de las cuatro especies de lémures que utilizamos en la actividad 9. Información para aportar al alumnado.

<p><i>Prolemur simus</i> (lémur grande del bambú)</p>	<p>Forma de vida: Arborícola.</p> <p>Dieta: Esta especie se alimenta casi exclusivamente de bambú. Como suplemento también come frutos y hongos.</p> <p>Agua: Tiene alto un requerimiento de agua en buenas condiciones (potable). Actualmente, el cambio climático está disminuyendo progresivamente esa disponibilidad.</p>
<p><i>Eulemur cinereiceps</i> (lémur de cabeza gris)</p>	<p>Forma de vida: Arborícola.</p> <p>Dieta: Esta especie se alimenta principalmente de frutos (frugívora), especialmente de los de pandanos (planta tropical, frecuente en Madagascar). Como suplemento consumen flores, hojas y hongos.</p> <p>Parásitos: La capacidad de supervivencia de los individuos de esta especie está muy influenciada por la afectación de diferentes parásitos propios de su ecosistema. Si están muy infectados, tendrán mayores dificultades para sobrevivir.</p>
<p><i>Propithecus candidus</i> (Sifaca sedoso)</p>	<p>Forma de vida: Arborícola.</p> <p>Dieta: Esta especie se alimenta de hojas, frutos y semillas de diferentes especies. Normalmente, la proporción del tipo de alimento consumido es:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hojas (55%) • Frutos (35%) • Semillas (10%)
<p><i>Eulemur flavifrons</i> (lémur negro de ojos azules)</p>	<p>Forma de vida: Arborícola.</p> <p>Dieta: Esta especie se alimenta de hojas y frutos de diferentes plantas. Como suplemento consume algunos insectos, flores y hongos. Normalmente, la proporción del tipo de alimento consumido es:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frutos (52,3%) • Hojas (47,7%) <p>Actividad: Tienen un doble periodo de actividad a lo largo del día; están más activos por la mañana y al anochecer. La tarde y madrugada la pasan durmiendo</p>

- ¿Qué podría ocurrir con el “lémur grande del bambú” si a lo largo del tiempo fuera disminuyendo el número de plantas de bambú en la isla y aumentando el número de otras plantas, que produjeran una gran cantidad de frutos?, ¿por qué?

- ¿Qué podría ocurrir con el “lémur de cabeza gris” si, debido a que se produzcan cambios en

la temperatura a lo largo de millones de años, aumentan las poblaciones de parásitos?, ¿por qué?

- *¿Qué podría ocurrir con el “sifaca sedoso” si las plantas de las que se alimenta, a lo largo de mucho tiempo, fueran disminuyendo poco a poco la cantidad de frutos que producen?, ¿por qué?*
- *¿Qué podría ocurrir con el “lémur negro de ojos azules” si, a lo largo del tiempo, fueran apareciendo depredadores de actividad principalmente nocturna?, ¿por qué?*

Las respuestas deben ser redactadas por cada grupo en la correspondiente ficha. Una vez terminadas, cada uno de ellos expondrá sus conclusiones de las preguntas que vayan siendo tratadas, siendo de esperar que las respuestas puedan corresponderse con dos tipos principales:

1. Extinción de las especies y, por lo tanto, su desaparición.
2. Evolución, desde una lógica lamarckista, de las especies hacia la adquisición de adaptaciones para los nuevos escenarios.

Una vez explicitadas las concepciones previas del alumnado sobre la evolución, por medio de mecanismos lamarckistas, el docente entablará un diálogo en el que cuestionará muchas de las conclusiones a las que los diferentes grupos hayan podido llegar. Es decir, se trata de que el profesor tome un papel activo en el proceso, contraargumentando las conclusiones y los razonamientos de carácter lamarckista que haya utilizado el alumnado. Para ello, pensamos que resulta más adecuado emplear contextos equivalentes a los planteados en las preguntas anteriores pero que les resulten más familiares, de cara a que aprecien con mayor claridad las incongruencias del mecanismo lamarckista en muchas situaciones reales y cotidianas. De esta forma, algunas posibles preguntas podrían ser:

- *Habéis comentado que el “lémur negro del bambú” evolucionaría y cambiaría su forma de alimentación porque necesita adaptarse a los cambios; ¿Pensáis que es posible cambiar la forma de alimentación de un animal porque le convenga cambiar?, ¿Creéis que si en el futuro hubiera carencia de alimentos para los seres humanos, podríamos cambiar a otro tipo de alimentación porque convenga más?, ¿vosotros sois capaces de cambiar vuestros requerimientos nutricionales para no tener que comer los alimentos que no os gustan, por ejemplo las verduras?*
- *Habéis comentado que el “lémur de cabeza gris” evolucionaría y adquiriría una mayor capacidad de resistir las infecciones por parásitos; ¿Pensáis que es posible que un animal adquiriera mayor resistencia a una enfermedad infecciosa porque le convenga?, ¿creéis que si hubiera una epidemia de alguna enfermedad y estuviéramos en riesgo de contraerla, podríamos hacer*

que no nos afectara por propia voluntad?

- Habéis comentado que el “sifaca sedoso” evolucionaría y cambiaría su alimentación, consumiendo más cantidad de hojas; *¿Creéis que da igual comer una mayor cantidad de hojas que de frutos?, ¿pensáis que la composición nutricional de un fruto y de una hoja es similar o, por el contrario, bastante diferente?, ¿creéis que es posible cambiar la forma de alimentación de un animal porque le convenga cambiar?, ¿qué puede ocurrir si una persona no tiene una alimentación variada? ¿puede cambiar sus requerimientos nutricionales porque le guste más un tipo de comida que otro, o lo normal es que pueda desarrollar alguna enfermedad?*
- Habéis comentado que el “lémur negro de ojos azules” evolucionaría y cambiaría su periodo de actividad, evitando las horas en las que estuviera más activo el depredador; *¿Pensáis que es posible que un animal cambie sus horas de sueño y actividad porque le convenga para evitar a un depredador?, ¿vosotros podríais cambiar vuestros periodos de descanso y actividad porque os viniera bien?, ¿podríais pasar a requerir dormir sólo tres horas, en lugar de ocho, porque necesitéis más tiempo para hacer cosas y os conviniera cambiar?*
- Es cierto que una persona puede adquirir mayor resistencia por una enfermedad cuando ha pasado por ella (varicela, por ejemplo) o cuando se pone una vacuna, pero *¿creéis que los hijos de esa persona heredan la capacidad de resistir esa enfermedad?, ¿cuántos de vosotros habéis pasado la varicela, al igual que vuestros padres cuando eran pequeños?, ¿pensáis que vuestros hijos ya no tendrán que ponerse todas o muchas de las vacunas que os habéis puesto vosotros durante vuestra vida?, ¿creéis que vuestros hijos ya no tendrán que ponerse la vacuna del tétanos, hepatitis y otras muchas, porque vosotros les pasaréis la resistencia por herencia?*
- Es cierto que podemos acostumbrar a una persona o un animal a cambiar su periodo de actividad, pero *¿creéis que si una persona altera su periodo de actividad por su trabajo y duerme durante las mañanas, sus hijos heredarán ese mismo periodo de actividad? ¿tendrán sus hijos mayores dificultades para dormir por la noche por haber heredado ese hábito del padre/madre?*
- Es cierto que podemos cambiar algunas partes de nuestro cuerpo o capacidades de distinto tipo por voluntad, mediante el entrenamiento, como ocurre con el ejercicio físico, con el que podemos aumentar nuestra resistencia física o aumentar la masa muscular, por ejemplo. Sin embargo, *¿pensáis que si una persona va mucho al gimnasio y adquiere musculación, sus hijos heredarán una masa muscular mayor?*

Una vez que el docente lo considere oportuno, planteamos preguntas orientadas a introducir la noción de variabilidad como elemento central en el mecanismo de cambio evolutivo. Para ello,

comenzamos realizando algunas preguntas que se relacionen con la variedad de caracteres fenotípicos que presentan las especies, tomando como referencia al ser humano, así como características que les resulten cercanas. En nuestro caso, proponemos algunos ejemplos como los siguientes:

- Centrándonos en el caso de las personas; *¿Somos todas las personas iguales?, ¿tenemos las mismas necesidades, o hay diferencia entre unas y otras?*
- *¿Alguna vez habéis escuchado cuántas horas diarias duermen o deben dormir las personas?, ¿creéis que todo el mundo tiene que dormir el mismo número de horas, o hay gente que necesita más y menos de ocho horas?, ¿conocéis ejemplos de personas que necesiten dormir diferente número de horas?*
- *¿Pensáis que hay personas que tienen más predisposición a padecer algunas enfermedades que otras?, ¿creéis que una misma enfermedad afecta de la misma forma a todo el mundo, o hay personas que sufren peores síntomas que otras?*
- *¿Habéis escuchado alguna vez cuantas kilocalorías se recomiendan ingerir para cubrir las necesidades de una persona cada día?, ¿pensáis que todo el mundo tiene que consumir exactamente el mismo número?, ¿una persona que mida dos metros y sea corpulenta tendrá que consumir las mismas kilocalorías que otra que mida metro y medio y sea delgada?, ¿por qué?*

Esperamos que el alumnado acepte y entienda la idea de variabilidad, utilizando ejemplos como éstos, basados en caracteres fenotípicos puntuales, con los que puedan tener referencias inmediatas y personales.

A continuación, volvemos a rescatar los caracteres de los lémures que habían sido problematizados con anterioridad y repartimos a cada grupo una ficha en la que aparezcan representaciones gráficas de la distribución poblacional de los caracteres utilizados, diferenciando los distintos niveles que, supuestamente, podríamos ver reflejados en las poblaciones de las cuatro especies tomadas, así como las proporciones de población representadas en cada uno de ellos (los valores utilizados son ficticios y su finalidad es solo ejemplificar un supuesto caso de diversidad de fenotipos posibles) (Anexo 16, 17, 18 y 19). Una vez repartidas, explicamos al conjunto del alumnado algunos aspectos clave a la hora de interpretar adecuadamente las gráficas y les pedimos que, teniendo como referencia esas gráficas, discutan y elaboren una respuesta, por escrito, a las siguientes preguntas:

- En el caso del “lémur grande del bambú”: *¿Cómo se verán afectadas las poblaciones de esta especie a medida que pase el tiempo y vaya ocurriendo la sustitución del bambú por otras plantas que produjeran muchos frutos?*
- En el caso del “lémur de cabeza gris”: *¿Cómo se verán afectadas las poblaciones de esta*

especie a medida que pase el tiempo y vaya aumentando el número de parásitos?

- En el caso del “sifaca sedoso”: *¿Cómo se verán afectadas las poblaciones de esta especie a medida que pase el tiempo y vaya disminuyendo el número de frutos disponibles?*
- En el caso del “lémur negro de ojos azules”: *¿Cómo se verán afectadas las poblaciones de esta especie a medida que pase el tiempo y vayan apareciendo posibles depredadores de hábitos nocturnos?*

Pensamos que, en esta fase, el docente debe permanecer alerta, pendiente de que las preguntas realizadas hayan sido interpretadas adecuadamente y empleando preguntas mediadoras que permitan la aclaración de aspectos que hayan podido no quedar resueltos. Algunos ejemplos generales (que debieran ser contextualizados para cada caso concreto) podrían ser:

- *¿Afectaría de la misma forma a todos los individuos de la población?*
- *¿Habría algunos individuos que tendrían características más apropiadas para mantenerse?*
- *¿Quiénes tendrían más probabilidades de satisfacer sus necesidades con mayor facilidad?*
- *Una vez transcurrido mucho tiempo, ¿qué individuos habrían salido beneficiados de este cambio?, ¿creéis que eso implicaría algún cambio en los porcentajes que os he mostrado en las gráficas iniciales?*

Asimismo, pedimos que cada grupo nos reelabore, con ayuda de papel milimetrado (o incluso mediante el manejo de una hoja de cálculo, si hubiera ordenadores disponibles), nuevas gráficas (una especie por grupo) en las que se represente hacia dónde se dirigirían las diferentes distribuciones de los distintos caracteres a medida que pasara el tiempo, teniendo en cuenta que dichos caracteres son heredables. Esperamos que nos reflejen, de una u otra forma, una tendencia de aumento en la proporción de aquellos niveles que fueran más beneficiosos ante la nueva situación. Por otra parte, el docente tendrá otras fichas donde aparezcan gráficas con las distribuciones modificadas, de forma plausible con las presiones de cambio reflejadas en los diferentes escenarios que fueron planteados (Anexo 20, 21, 22 y 23). Estas fichas podrían ser entregadas una vez discutidas las conclusiones de los diferentes grupos, así como usarlas en caso de que algún grupo no supiera cómo abordar la tarea propuesta.⁴

⁴El nivel al que podamos profundizar en esta fase de la tarea dependerá fundamentalmente de cuál haya sido el trabajo previo de los contenidos del currículo sobre evolución, recogidos en el Real Decreto 1105/2014. En el caso de que el alumnado haya estudiado el papel de las mutaciones en la concesión de variabilidad genética, sería posible reflejar en las gráficas el surgimiento de nuevos niveles no representados en las distribuciones iniciales. En nuestro caso, planteamos esta secuencia como un posible preámbulo al tratamiento de contenidos teóricos evolutivos referidos a la escala micro (ADN, concepto de gen, mutaciones, leyes de Mendel, etc.), por lo que el desconocimiento de las mutaciones como fuente de variabilidad genética sólo nos permitiría deducir cambios en las distribuciones de los niveles inicialmente presentados en las gráficas. Consideramos que son posibles ambas situaciones y que, en una y otra, se refleja la acción de la selección natural como mecanismo evolutivo.

Cada grupo expondrá brevemente cuáles son sus conclusiones ayudándose de la pizarra, si fuera necesario, para representar su gráfico. El docente deberá poner de relieve que las conclusiones alcanzadas son muy diferentes a las planteadas inicialmente, desde la lógica lamarkista, destacando cómo, desde la acción de la selección natural, puede explicarse el cambio biológico partiendo de la variabilidad intraespecífica/intrapoblacional y la acción de las presiones ambientales, dando lugar a la adaptación.

Finalmente, concluimos la actividad haciendo referencia explícita a una distinción que consideramos muy importante: El cambio biológico sucede de una forma lenta, desde el punto de vista de la escala de tiempo convencional, por lo que su proyección requiere de cambios lentos, en contraposición a los cambios rápidos y/o drásticos que pueden provocar extinciones. Para ello, el docente realizará una breve explicación, en la que expondrá el profundo efecto que ha tenido la acción humana sobre la biodiversidad, centrándose inicialmente en las cuatro especies utilizadas en la actividad (todas en peligro crítico de extinción) y destacando las causas que las han llevado a esa situación y que ponen en peligro su existencia futura (transformación del territorio por tala masiva de árboles, caza, cambio climático, etc.). Asimismo, puede ser de utilidad referirse a algunas de las especies de lémures extintas debido a la acción humana, desde la colonización de la isla de Madagascar (*Archaeolemur edwardsi*, *Archaeoindris fontoynontii*, *Mesopropithecus pithecoides*, *M. globiceps*, *M. dolichobrachion*, *Palaeopropithecus ingens*, *P. maximus*, *P. kelyus* o *Megaladapis edwardsi*), algunas de las cuales se extinguieron poco tiempo después de la llegada del ser humano a la isla, bien por la caza o bien por modificación de sus hábitats naturales.

Justificación

La inclusión de una actividad como ésta, responde a la demanda curricular existente, en el curso de 4º de ESO, en lo referente a trabajar contenidos relativos a la evolución, tanto en lo que respecta a sus evidencias como a sus mecanismos. Una vez realizada la actividad 8, en la que también hemos hecho uso de razonamientos asentados sobre la idea de evolución y la aceptación de su existencia a través de la identificación de nuestro fósil (como estrepisirino adapiforme) por medio del trabajo interpretativo de un árbol filogenético y de información buscada en internet, utilizamos a los lemuriiformes como grupo sobre el que fundamentar el desarrollo de esta nueva actividad (grupo taxonómico conocido por la actividad anterior).

Tomamos como referencia a cuatro especies actuales de lemuriiformes, aportando unas fichas con algunos datos reales de interés sobre dichas especies, tomadas de Mittermeier et al. (2009). La información disponible en las fichas, acerca de estas especies, es la base sobre la que el alumnado aplicará sus concepciones previas acerca de cómo sucede el proceso evolutivo. Para ello, el planteamiento de los escenarios de cambio, por parte del docente, debe ser enunciado con claridad y haciendo referencia explícita a los caracteres sobre los que disponemos de información. Asimismo, la petición de que cada grupo nos explique lo que cree que sucederá ante posibles cambios de escenarios debe

ser concretada con claridad, de cara a que el alumnado nos responda desde sus concepciones sobre evolución y sus mecanismos.

Tal y como apuntan muchos trabajos, es de esperar que los modelos explicitados por el alumnado acerca del cambio evolutivo se sustenten sobre premisas lamarckistas (Fernández y Sanjosé, 2013; Gallego y Muñoz, 2015; Gándara et al., 2002; Grau y De Manuel, 2002; Jiménez, 1991; Jiménez-Tejada, 2009; Samarapungavan y Wiers, 1997). Por ello, una vez que estas se manifiesten con claridad, proponemos que el docente tome un papel activo; mediante preguntas ayudará al alumnado a que ponga en cuestión sus explicaciones iniciales. Poner en crisis las concepciones o modelos iniciales del alumnado, gracias al conflicto cognitivo que percibe el alumnado, facilitado por el docente, es la estrategia del cambio conceptual, puesta en valor por algunos autores (Mason, 2007 citado en Fernández y Sanjosé, 2013). En nuestro caso, realizamos propuestas orientativas acerca de posibles ejemplos que podrían ser susceptibles de utilizarse por parte del docente para realizar las réplicas correspondientes, pudiéndose dividir en dos tipos principales, en función de los tipos de concepciones subyacentes en el alumnado a los que queramos darle respuesta:

1. Concepciones sobre la adquisición de caracteres.

Aquellas en las que las posibles réplicas comienzan de la siguiente forma: “Habéis comentado que...”; estas posibles respuestas están pensadas para razonamientos del alumnado en los que subyazcan ideas referidas a una supuesta voluntad, por parte de los organismos, en el hecho de la evolución. Asimismo, pueden servir para razonamientos de carácter teleológico, en los que el alumnado muestre que conciben la evolución desde una perspectiva finalista, es decir, que el cambio se produce en respuesta a la necesidad última, por parte del organismo, de adaptarse (como si de alcanzar una meta se tratase).

2. Concepciones sobre la herencia de caracteres adquiridos.

Aquellas en las que las posibles réplicas comienzan de la siguiente forma: “Es cierto que...”; estas posibles respuestas están pensadas para razonamientos del alumnado referidos a la herencia de los caracteres adquiridos. Esperamos que el alumnado pueda rebatirnos aludiendo a la posible capacidad de los organismos de adaptarse a cambios que sucedan en su ambiente (refiriéndose a procesos de aclimatación o que son resultados de la plasticidad fenotípica). Esta concepción, también considerada lamarckista, de que todo cambio que sufra un organismo debe ser heredable, es generalmente expuesta por alumnado de diferente nivel y resulta fácil de poner en crisis mediante preguntas o réplicas que hagan que el alumnado reflexione sobre ejemplos cercanos a ellos mismos.

Una vez concluido el proceso anterior, comenzamos a introducir nociones básicas relacionadas con una concepción de la evolución cercana a la perspectiva darwinista. Una de las principales barreras epistemológicas que dificultan la comprensión de la evolución por selección natural en el alumnado es la inadecuada construcción previa del concepto de “especie”. Generalmente, el concepto

de especie es construido por el alumnado desde un enfoque esencialista, sin tener en cuenta la variabilidad intraespecífica/intrapoblacional; esta cuestión es de gran importancia, puesto que una mala comprensión del concepto de especie dificulta la comprensión del funcionamiento de la evolución biológica (Tamayo, Hurtado y Troncoso, 1998 citado en Jiménez-Tejada, 2009). Por todo esto, en nuestro caso intentamos introducir la noción de variabilidad intraespecífica como algo consustancial al propio concepto de especie; para ello, explicitamos, mediante el uso de gráficas, una supuesta variedad de fenotipos (sin correspondencia con la realidad, en este caso) en las cuatro especies de lémures inicialmente trabajadas, en relación a los caracteres en los que nos habíamos centrado con anterioridad. Previamente, proponemos el empleo de ejemplos relativos al ser humano, que puedan resultar más cercanos al alumnado y donde se pueda dilucidar la existencia de variabilidad.

Una vez que los diferentes grupos han observado la información contenida en las fichas, el docente realiza nuevamente preguntas referidas a posibles escenarios de cambio. En este caso, esperamos que las nuevas premisas de partida (existencia de variabilidad intraespecífica) promuevan una interpretación fundamentada en la supervivencia diferencial de aquellas variantes fenotípicas que se encuentren mejor adaptadas al nuevo escenario, es decir, que el alumnado deduzca la acción de la selección natural y prevea el cambio en la distribución de caracteres como respuesta a las presiones ambientales, favoreciendo la adaptación. El docente debe incluir los términos de selección natural y adaptación para referirse a dichos fenómenos en el contexto creado en esta fase de la actividad.

Nuestra propuesta es concebida como un posible preámbulo al tratamiento de contenidos sobre evolución desde una perspectiva molecular. Como mencionamos más arriba, la noción de variabilidad intraespecífica es introducida en esta actividad a través del análisis de fenotipos. Aunque no existe, en muchos casos, una correspondencia directa entre genotipo y fenotipo a la hora de entender la importancia de la variabilidad genética en la evolución, hemos decidido plantear esta actividad al margen de conceptos o modelos evolutivos propios del ámbito molecular, de cara a no incluir, en una sola propuesta didáctica, una variedad de contenidos que pudiera resultar excesiva. Debido a esto, tampoco incluimos el concepto de mutación en nuestra propuesta, lo que limita la acción de la selección natural (“nuestra” selección natural) a la variabilidad existente en nuestro escenario, sin mencionar la fuente de dicha variabilidad. En cualquier caso, creemos que esta limitación no supone problema alguno, pues la introducción de dicho elemento, en los modelos mentales que el alumnado vaya construyendo, puede realizarse cuando se trabajen, *a posteriori*, contenidos sobre evolución desde una perspectiva molecular. Esto se encuentra en consonancia con el modelo de enseñanza-aprendizaje defendido por la reciente reforma curricular en EEUU con los “Next Generation Science Standards” (NGSS), en la que las concepciones alternativas son sustituidas poco a poco, a medida que el alumnado va dando sentido a nuevos contextos de aprendizaje, favoreciendo la incorporación progresiva de nuevos elementos a sus modelos mentales en reconstrucción; de esta forma, el uso de ideas no acordes a modelos científicos, así como diferentes conocimientos parciales pueden ser de gran utilidad en el proceso de aprendizaje del alumnado (NGSS Lead States, 2013 citado por Campbell, Schwarz y Windschitl, 2016).

Finalmente, concluimos la actividad haciendo referencia a la diferencia entre la escala temporal en la que sucede la evolución y la de tiempo convencional, recalcando la lentitud del proceso evolutivo. En contraposición, existen muchos ejemplos de cambios drásticos o rápidos que han sido responsables de numerosas extinciones de diferentes especies, con el ser humano como principal causante de dichas alteraciones. En nuestro caso, proponemos utilizar ejemplos de lémures, extintos en tiempo histórico tras la llegada del ser humano a Madagascar, de cara a mantener el hilo conductor de toda la secuencia desarrollada. De esta forma, también introducimos la noción de insostenibilidad en muchas de las prácticas que el ser humano ha desarrollado a lo largo de la historia (y lamentablemente sigue desarrollando), algo que también está incluido en los contenidos curriculares de 4º de ESO.

Sesión 11

Duración: 1 hora

Lugar: Aula del centro escolar.

Actividad 10: ¿Hemos hecho ciencia?

En vistas a cerrar la secuencia de actividades, proponemos una última actividad en la que se haga referencia, a modo de metarreflexión, a las diferentes fases de las que constaban los procesos de indagación trabajados a lo largo de la secuencia de actividades. Para ello, el docente planteará un proceso dialógico con el alumnado, en su conjunto, en el que intente realizar una recapitulación de los diferentes contextos que se hubieran ido generando a lo largo de la secuencia de actividades (especialmente en aquellas en las que transcurrieran procesos indagativos). Nuestra intención es promover un contexto de reflexión colectiva sobre los procedimientos empleados para la construcción de conocimientos. Para ello, tomamos como referencia aspectos que podríamos considerar básicos sobre la naturaleza de la ciencia y sobre los que la sociedad suele mantener concepciones sesgadas o deformadas; estas concepciones, conjuntamente con preguntas que podrían ser formuladas acerca de ellas, son:

1. Concepción empiroinductivista y ateórica de la ciencia.
 - Después de haber visto cómo hemos ido avanzando en el reconocimiento del fósil, *¿pensáis que lo que hemos hecho se puede considerar ciencia?, ¿por qué?*
 - *¿Creéis que podríamos haber llegado a saber tanto sobre nuestro fósil simplemente por la apariencia que tenía en la roca?, ¿pensáis que era importante establecer hipótesis iniciales en algunos momentos?, ¿por qué?*
 - *¿Os acordáis de alguna hipótesis que propusisteis que luego no encajara o coincidiera con*

lo que ibais descubriendo?, ¿en qué os basabais cuando la proponíais?, ¿pensáis que era importante este paso, o podríamos haber llegado a saber todo lo que sabemos ahora sobre el fósil simplemente observándolo?

2. Concepción rígida de la actividad científica.

- *¿Pensáis que podríamos identificar diferentes etapas con claridad en el proceso de investigación que realizamos?, ¿siempre las hemos realizado de la misma manera y en el mismo orden?, ¿pensáis que hemos repetido etapas parecidas en uno y otro momento?*
- *¿Habéis tenido dudas difíciles de resolver en algún momento, en los distintos grupos?, ¿pensáis que esas dudas os han ayudado o perjudicado?, ¿por qué creéis que aparecen dudas en diferentes momentos?*

3. Concepción aproblemática y ahistórica de la ciencia.

- *Después de lo que hemos ido trabajando, ¿pensáis que hay diferencias entre todo lo que hemos tenido que hacer para descubrir cosas sobre el fósil y que yo os hubiera explicado todo lo que ahora sabemos sobre el fósil directamente?, ¿pensáis que así habéis aprendido algo que, de la otra forma, no hubierais aprendido?, ¿el qué exactamente?, ¿cuál es realmente el “motor”, la causa de la investigación científica?*
- *¿Desde cuándo creéis que se conocen los fósiles?; teniendo en cuenta que hace siglos se interpretaba que todos los fósiles eran restos orgánicos que demostraban la existencia pasada del Diluvio Universal o también que se habían formado directamente de la roca y no tenían origen orgánico ¿se han interpretado con el sentido que la ciencia acepta actualmente desde el principio?; ¿y la evolución? una vez aportadas las pruebas, ¿pensáis que se aceptaron inmediatamente estas explicaciones? ¿por qué?*
- *Teniendo en cuenta todos los problemas y obstáculos que hemos tenido que ir superando durante las actividades, ¿pensáis que todos estos obstáculos podrían evitarse y llegar a elaborar conocimientos científicos de una forma más directa y con menos problemas?, ¿por qué?*

4. Concepción exclusivamente analítica de la ciencia.

- *¿En qué parte de la asignatura situaríais estas actividades que hemos realizado, en geología o en biología?, ¿qué parte de lo que habéis aprendido consideraríais como propio de la biología o la geología?*
- *¿Pensáis que son importantes los conocimientos sobre la historia de la Tierra para investigar*

las características del organismo que dio lugar a un fósil determinado?, ¿creéis que los fósiles pueden darnos información sobre la roca en la que se encuentran?

5. Concepción individualista y elitista de la ciencia.

- *¿Qué ha sido más frecuente en estas actividades, el trabajo colectivo o individual?, ¿pensáis que ha sido positivo el trabajo colectivo?*
- *¿Pensáis que hubierais podido llegar a las mismas conclusiones con facilidad trabajando solos?, ¿qué problemas nos hemos ido encontrando en los que haya resultado muy beneficioso poder discutir con los compañeros para llegar a una conclusión?*
- *Teniendo en cuenta vuestra experiencia, ¿cómo creéis que trabajan mejor los investigadores normalmente?, ¿por qué?, ¿cuál es la imagen del típico científico que habéis tenido toda vuestra vida?, ¿se parece en algo a la de alguien que trabaja en colectivo con otras personas, comete errores o duda en muchas ocasiones?, ¿siempre ha sido así?, ¿podríais vosotros ser científicos?*

Una vez concluido este diálogo, el docente pedirá al alumnado que, conjuntamente, vayan recordando qué procesos se han ido realizando durante la realización de las actividades indagativas, de cara a realizar una recapitulación final, clara y sintética de cómo han llegado a sus hallazgos, de cómo han hecho ciencia. El alumnado irá recordando aquellos momentos o situaciones que consideren como parte importante del proceso y el docente debe mediar dichas respuestas, intentando encajarlas y concretarlas en los términos en los que transcurren las principales fases del proceso indagativo. Para ello, puede ser de utilidad la realización de un póster digital en el que se realice un esquema circular (no lineal) de diferentes fases representativas del proceso científico, que permita ver al alumnado la interrelación existente entre los diferentes momentos que ellos han ido recordando y aportando a la demanda del docente, de una manera clara y gráfica (Figura 4.7.).

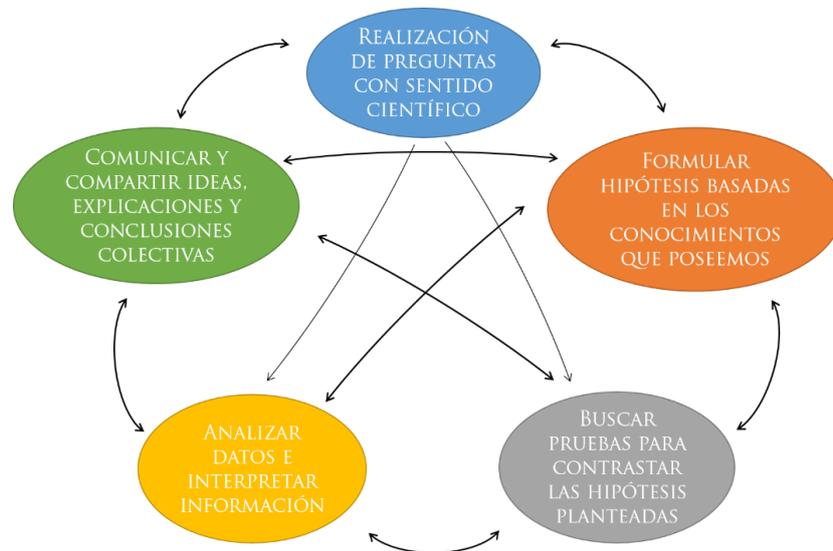


Figura 4.7. Representación esquemática de las principales fases de la indagación. Su representación puede ser de utilidad a la hora de recapitular, con el conjunto del alumnado, los diferentes procesos en los que se han visto involucrados.

Justificación.

Proponemos esta actividad como elemento de cierre de nuestra propuesta educativa. Nos resulta especialmente interesante finalizar una propuesta como ésta, en la que intentamos integrar el trabajo de contenidos conceptuales sobre ciencia con aspectos metodológicos relacionados con el proceder científico, deteniéndonos en trabajar la naturaleza de la ciencia. Entendemos que tratar la naturaleza de la ciencia como parte implícita en los contenidos de la secuencia implica prestar especial atención a los aspectos metacognitivos involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje puesto en marcha (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016).

En esta actividad nos centramos en intentar incidir, de forma contextualizada, sobre aquellos aspectos de la actividad científica que, conformando parte esencial del proceder científico, suelen estar representados, a nivel social, de manera alterada o deformada. Así, nuestra propia secuencia de actividades puede servirnos como elemento de evidencia que nos permita mostrar una visión más cercana a los contextos científicos reales. Las concepciones elegidas para elaborar las preguntas han sido tomadas de la exhaustiva revisión realizada, al respecto, por Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia (2002):

1. Concepción empiroinductivista y ateórica de la ciencia.

Hace referencia a la noción, ampliamente extendida, de ciencia como forma de obtener conocimiento a través de los procesos de observación y experimentación supuestamente neutros, obviando el importante papel que ocupan las hipótesis y las teorías orientadoras sobre la actividad científica.

2. Concepción rígida de la actividad científica.

Alude a la frecuente referencia a la ciencia como una forma de proceder única, basada en un conjunto de etapas determinadas y secuenciadas de forma lineal, concepción que también es muy frecuente en el cuerpo docente (Fernández, 2000, citado por Fernández et al., 2002). En esta concepción también se integra la idea de ciencia como proceso infalible y mecánico, donde no surgen contextos de duda y los resultados esperados carecen de ambigüedad.

3. Concepción aporética y ahistórica de la ciencia.

Estrechamente ligada a una práctica de la enseñanza de las ciencias basada en mostrar conocimientos ya elaborados, desligados de los problemas que ha podido acarrear su construcción a lo largo de la historia de la ciencia. En este caso se trata de una concepción generada por omisión y frecuente en el planteamiento de la enseñanza tradicional y en los libros de texto (Fernández, 2000, citado por Fernández et al., 2002).

4. Concepción exclusivamente analítica de la ciencia.

Hace referencia a la visión de la ciencia como una actividad practicada en diferentes campos claramente diferenciados y estancos, sin comprender la importancia de la interdisciplinariedad en el avance de la ciencia y cómo, los diferentes ámbitos temáticos se influyen en la práctica.

5. Concepción individualista y elitista de la ciencia.

Alude a una de las nociones más extendidas, en el ideario colectivo, con respecto a la ciencia. La ciencia es generalmente percibida como una actividad solitaria, fruto de grandes genios excéntricos y alejados de la sociedad real.

Por último, planteamos una última fase de la actividad en la que, de forma colectiva, el alumnado realice un ejercicio de recordatorio y ponga sobre la mesa los momentos que podríamos distinguir en el proceso de investigación sobre nuestro fósil problema inicial. Empleamos la orientación del docente como un componente clave a la hora de elaborar un esquema representativo de la actividad científica.

Finalmente, destacamos la particularidad de nuestra secuencia de actividades en lo relativo al proceso indagativo. A pesar de no generar resultados a partir de experimentos propios, el proceso de investigación acerca de nuestro fósil está guiado por procedimientos de razonamiento inductivo que entroncan coherentemente con la aproximación actualista, frecuente en el campo de la paleontología, y al que hemos intentado adaptar las particularidades de la indagación, entendiéndola tanto como objeto de aprendizaje como estrategia didáctica. Esto lo situamos en estrecha relación con lo planteado por Acevedo-Díaz y García-Carmona (2016), quienes resaltan el polifacetismo de la actividad científica como un aspecto a tener en cuenta a la hora de intentar trabajar la naturaleza de la ciencia como contenido específico.

4.3. Evaluación.

La evaluación es un proceso esencial en el desarrollo de cualquier propuesta didáctica. En este sentido, es necesario entenderlo como un componente indisoluble de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Según Geli (2000, citado en Vílchez et al., 2015, pp. 42-43.):

evaluar es recoger información sobre los procesos y los resultados del proyecto educativo, desde el inicio hasta el final de su desarrollo, y analizarla e interpretarla respecto al proceso de enseñanza-aprendizaje de los alumnos y respecto de todos los factores que inciden en la calidad del mismo.

Por lo tanto, al hablar de evaluación nos referimos a un proceso de mayor amplitud y alcance que el indicado por la concepción tradicional, que alude al control de los conocimientos del alumnado al final del proceso de enseñanza-aprendizaje.

El conjunto de procesos evaluativos susceptibles de ser incorporados a una propuesta didáctica enmarcada en el modelo constructivista (como la que nos ocupa) son muy variables, pues la propia concepción de este modelo implica la inclusión de la evaluación al proceso de enseñanza-aprendizaje a lo largo del proceso didáctico (Gil, 1983 citado en Vílchez et al., 2015).

De esta forma, las funciones que cumple la evaluación, como proceso general, son variables y uno de los aspectos más relevantes es la distinción de los diferentes momentos evaluativos que podemos llegar a considerar implementar. Siguiendo a Vílchez et al. (2015) (Figura 4.8.), distinguimos tres tipos de evaluación, en función del momento de evaluación y su posible finalidad:

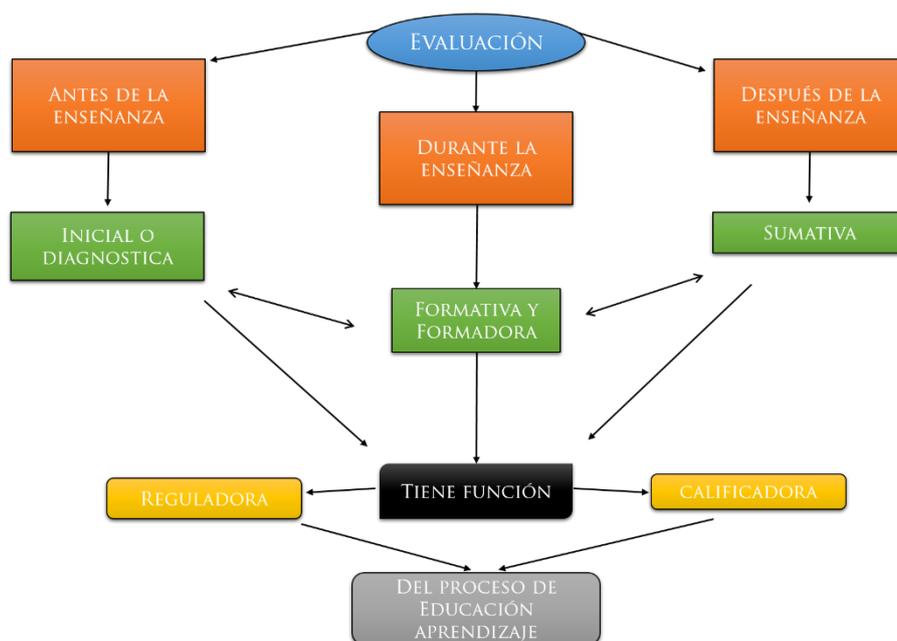


Figura 4.8. Representación esquemática de los diferentes tipos de evaluación, según el momento evaluativo y su finalidad. (Adaptado de “Introducción a la didáctica de las ciencias experimentales”, por J.M. Vílchez et al., 2015, p. 45.)

1. Evaluación inicial o diagnóstica.

Se lleva a cabo antes de iniciar la propuesta didáctica en cuestión. Su función es la de informar al docente acerca de las condiciones de partida del alumnado con respecto a los contenidos a trabajar y destrezas necesarias para desarrollar la propuesta. En este sentido, la función atribuida a esta fase de la evaluación es meramente reguladora.

2. Evaluación formativa/formadora.

Se lleva a cabo durante la implementación de la propuesta didáctica. Su función es la de informar al docente en lo relativo al progreso del alumnado a lo largo de la secuencia de actividades planteada. Asimismo, esta fase de la evaluación puede ser de utilidad para comprobar la confluencia entre el alumnado y el propio proceso de enseñanza-aprendizaje en el que está inmerso, es decir, si comprende el sentido de las actividades propuestas. Por lo tanto, la función atribuida a esta etapa de la evaluación es reguladora, aunque también podemos atribuirle función calificadora, en tanto que en su puesta en práctica se pretende constatar el progreso del alumnado en el tratamiento de los contenidos a trabajar.

3. Evaluación sumativa.

Se lleva a cabo después de la implementación de la propuesta didáctica. Su función es la de informar al docente y al alumnado acerca de los resultados finales del proceso de enseñanza-aprendizaje. En este sentido, esta fase evaluativa debe entenderse en un doble sentido; por un lado, sirve para comprobar el grado de éxito del alumnado y, por otro lado, sirve para comprobar la efectividad del proceso didáctico puesto en práctica. De esta forma, la función atribuida a esta etapa de la evaluación es calificadora, aunque también podemos atribuirle función reguladora, en tanto que aporta información al docente acerca de la calidad de la propuesta y es el punto de partida a posibles modificaciones futuras, así como debe aportar información al alumnado acerca de los aspectos positivos y sobre aquellos que debe mejorar.

En el caso de nuestra secuencia de actividades, el esquema anterior nos servirá como base para plantear la propuesta de evaluación. Somos conscientes del grado de complejidad que puede adquirir la elaboración de una propuesta de evaluación completa e integral, que atienda a la importancia de la función reguladora que deben tener los procesos evaluativos. En este sentido, es posible incorporar procesos de evaluación que trasciendan la exclusiva labor del docente para esta etapa del proceso, en la que se incluyan mecanismos que favorezcan el desarrollo de autonomía en la función de aprendizaje en el alumnado (autoevaluación o coevaluación), así como aporten información relevante al docente sobre su propia actividad (evaluación del profesorado) (Vílchez et al., 2015). No obstante, el desarrollo de una propuesta extensa de evaluación excede las pretensiones de este trabajo, por lo que nos centraremos en, siguiendo el esquema mostrado en la figura 4.8., hacer una aproximación evaluativa, a modo de propuesta particular.

4.3.1. Evaluación inicial o diagnóstico.

En el caso de nuestra propuesta, hemos realizado una investigación bibliográfica específica en torno a las ideas previas o concepciones alternativas que suele mostrar el alumnado de Educación Secundaria acerca de los tres grandes conceptos o modelos conceptuales que fundamentan la secuencia de actividades (ver apartado 2). En este sentido, nuestra propuesta de intervención se fundamenta en torno a una serie de asunciones relacionadas con los esquemas representacionales que el alumnado, normalmente, poseerá previamente a la realización de la secuencia de actividades. En cualquier caso, a lo largo de la secuencia intentamos crear diferentes contextos de explicitación de las ideas previas que nos permitirían corroborar su existencia (por ejemplo, la evolución entendida mediante mecanismos de corte lamarckista).

4.3.2. Evaluación formativa/formadora.

Proponemos el empleo de dos modelos de rúbricas como instrumentos de evaluación. Por un lado, una rúbrica referida a la progresión en la adquisición de contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales incorporados en la propuesta (mostramos un ejemplo en la tabla 4.5.). Por otro lado, una rúbrica referida a aspectos que involucren a la dimensión metodológica de la competencia científica (Cañal, 2012a; 2012b), que aporten información sobre el grado de progresión en la adquisición de habilidades o destrezas indagativas (Tabla 4.6.). Esta evaluación será colectiva, realizándose sobre los grupos constituidos en los diferentes momentos o el conjunto de la clase, en función del momento del proceso en el que nos encontremos. Asimismo, esta etapa, además de función reguladora en los términos explicados anteriormente, tendrá función calificadora. De esta forma, el valor proporcional final de una y otra rúbrica será de un 35% (rúbrica de contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales) y un 40% (rúbrica de aspectos metodológicos).

Tabla 4.5. Ejemplo de rúbrica sobre uno de los estándares de aprendizaje vinculados a la propuesta didáctica. Aplicable durante el transcurso de la actividad 9. No indicamos calificación numérica correspondiente a los diferentes niveles de logro representados; para ello sería necesario desarrollar la rúbrica completa y otorgar dichos valores en función del número de estándares de aprendizaje evaluables que consideremos.

Criterio de evaluación: Comprender los mecanismos de la evolución destacando la importancia de la mutación y la selección natural. Analizar el debate entre gradualismo, saltacionismo y neutralismo.		
1	No interpreta ni comprende el mecanismo de la selección natural y su relación con la variabilidad intraespecífica a partir de la observación de las gráficas y mantiene razonamientos de corte lamarckista.	Estándar de aprendizaje evaluable: Establece la relación entre variabilidad genética, adaptación y selección natural.
2	Interpreta y comprende el mecanismo de la selección natural y su relación con la variabilidad intraespecífica a partir de la observación de las gráficas, pero mantiene razonamientos de corte lamarckista	
3	Interpreta y comprende adecuadamente el mecanismo de la selección natural a partir de la observación de las gráficas y percibe las diferencias que presenta con respecto al mecanismo lamarckista.	

Para la elaboración de la rúbrica correspondiente a la dimensión metodológica de la competencia científica, hemos tomado como referencia a la rúbrica desarrollada por Ferrés, Marbá y Sanmartí (2015), para trabajos sobre indagación, en algunos de los ítems. Para su desarrollo nos hemos basado

en las cinco fases que caracterizan el proceso indagativo, según Martínez-Chico (2012 citado en Martínez-Chico, 2013).

Tabla 4.6. Rúbrica de evaluación referente a la dimensión metodológica de la competencia científica. Se indica la calificación numérica correspondiente a cada uno de los niveles de logro, de forma coherente con el valor proporcional que hemos otorgado a esta rúbrica para la calificación final (40%).

1 (0,23)	No se involucra en el proceso indagativo en ningún momento y no contribuye a la resolución de los problemas mediante la generación de nuevos interrogantes.	Generación de preguntas con sentido contextual
2 (0,44)	Se involucra en el proceso indagativo a lo largo del proceso, pero sin plantear nuevos interrogantes.	
3 (0,66)	Se involucra en el proceso indagativo y participa activamente en la generación de nuevos interrogantes que sirvan para avanzar en el proceso.	
1 (0,14)	No plantea hipótesis o no identifica hipótesis o plantea hipótesis sin sentido con la propuesta.	Formulación de hipótesis
2 (0,27)	Plantea hipótesis sin relación con el problema o los objetivos.	
3 (0,40)	Formula hipótesis ambiguas o con errores de lógica o mal formuladas o solo emite predicciones.	
4 (0,53)	Plantea hipótesis en forma de deducción y que encajan con los problemas de investigación.	
5 (0,66)	Plantea hipótesis que encajan con el problema de investigación y las describe en forma de deducción y con referencia al modelo: “ <i>Si pensamos que... entonces si... observaremos que...</i> ”	
1 (0,17)	No ha recopilado información de ningún tipo.	Búsqueda de pruebas/información
2 (0,34)	Recopilación de información incompleta, con falta de precisión y deficiencias en la aplicación de estrategias de búsqueda.	
3 (0,51)	Recopilación de información con errores o imprecisiones o que muestra falta de comprensión de los procedimientos y/o con evidencia de falta de relación entre la información buscada y las hipótesis planteadas, pero realizada de forma completa y con estrategias de búsqueda acertadas.	
4 (0,67)	Recopilación de información metódica, con buena comprensión y ejecución de las técnicas y estrategias de búsqueda, que aportan datos relacionados con las hipótesis.	
1 (0,14)	No realiza interpretación de información de ningún tipo.	Análisis de datos e interpretación de la información
2 (0,28)	Análisis e interpretación de la información deficiente y conclusiones no fundamentadas.	
3 (0,41)	Análisis e interpretación de la información basadas en la mera reproducción de la información encontrada. No relaciona justificaciones teóricas con la información encontrada.	
4 (0,54)	Análisis e interpretación de la información incompleta o poco fundamentada, de carácter simplista, o basada en información poco fiable	
5 (0,67)	Análisis e interpretación de la información de forma fundamentada y conclusiones basadas en pruebas. Coordina correctamente justificaciones teóricas e información manejada.	

Tabla 4.6 (continuación)

1 (0,17)	No existe dinámica de grupo de ningún tipo. No hay comunicación, ni compartición de ideas, discusión de explicaciones o conclusiones colectivamente.	Interacción, comunicación e intercambio de opiniones/explicaciones
2 (0,34)	Se producen situaciones de interacción puntuales, pero sin comunicación fluida y con vaga compartición de ideas y discusión de explicaciones o conclusiones colectivamente.	
3 (0,51)	Se producen situaciones de interacción frecuentes, con comunicación fluida, involucrando compartición de ideas y discusión de explicaciones y conclusiones colectivamente.	
4 (0,67)	Se producen situaciones de interacción constantes y fructíferas, con comunicación fluida, involucrando compartición de ideas y discusión de explicaciones y conclusiones colectivamente.	
1 (0,23)	No sabe describir las características del proceso de indagación científica.	Metarreflexión
2 (0,44)	Descripción incompleta de las características de un proceso de indagación o con confusión de conceptos, ideas puramente inductivistas y poca o nula referencia a conceptos científicos.	
3 (0,67)	Buena descripción de los procesos de indagación, con referencia a conceptos científicos en el análisis de información y la argumentación de conclusiones, que no surgen simplemente de procesos de inducción.	

4.3.3. Evaluación sumativa.

Proponemos la realización de una prueba escrita (examen) como instrumento de evaluación. Consideramos importante que, a la hora de elaborar este examen, el docente priorice la realización de preguntas de aplicación e interpretación de lo aprendido, disminuyendo la ambigüedad todo lo posible y, preferentemente, posibilite que el alumnado maneje documentación o herramientas como las empleadas en la secuencia de actividades. Es decir, favorecer la realización de preguntas productivas, sin limitarnos a la realización de cuestiones de carácter reproductivo. Esta evaluación será individual. Asimismo, esta etapa, además de función calificadora en los términos explicados anteriormente, tendrá función reguladora, algo especialmente reseñable si se incluyen preguntas de carácter interpretativo y de aplicación. De esta forma, el valor proporcional final de este examen será de un 25% de la calificación final.

El valor proporcional otorgado a los diferentes momentos evaluativos e instrumentos de evaluación en la calificación final lo hemos decidido acorde a criterios basados en la priorización de valorar el progreso del alumnado a lo largo del proceso y en la resolución de problemas en contextos definidos, sobre los conocimientos finales obtenidos de forma individual. De esta forma, un 75% de la calificación final depende de la evaluación formativa, al involucrar tanto a la construcción de conocimientos conceptuales, actitudinales y procedimentales, como a la adquisición de destrezas indagativas, mientras que un 25% de la calificación final depende de la evaluación sumativa, que siempre debe ir encaminada a presentar contextos de aplicación e interpretación, coherentes con los contenidos abordados durante la secuencia de actividades y que nos permite tener en cuenta el componente individual de la calificación final.

5. REFLEXIONES FINALES

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación representa una forma de replantear la didáctica de las ciencias acorde a las tendencias que, a lo largo de las últimas décadas, se han ido demandando y desarrollando cada vez más desde las instituciones de enseñanza, a todos los niveles posibles. En el caso que nos ocupa, consideramos que la metodología IBSE nos ofrece la posibilidad de diseñar propuestas didácticas que permiten abordar las exigencias curriculares en materia de competencias, en general, y competencia científica, en particular. En este sentido, la variedad de contextos que podemos crear a lo largo de una secuencia de actividades fundamentada en IBSE nos permite trabajar, de forma interrelacionada, diferentes competencias y, de esta forma, intentar ser coherentes con la propia idea de transversalidad que acompaña al planteamiento teórico del trabajo por competencias.

Teniendo en cuenta los diferentes planteamientos desde los que son abordados los diseños de las propuestas didácticas basadas en la indagación, hemos intentado ser cuidadosos a la hora de elaborar una secuencia de actividades amplia y que tome en consideración la potencialidad de la metodología IBSE como medio para desarrollar procesos de involucramiento del alumnado en la resolución de problemas de carácter científico, sin olvidar la importancia de ahondar en contenidos conceptuales y el trabajo de grandes teorías, en estrecha correspondencia con las exigencias curriculares de la etapa a la que nos dirigimos. Sin embargo, no rechazamos la posibilidad de recurrir a otras estrategias didácticas complementarias a la hora de trabajar determinados conceptos o contenidos, a medida que transcurre la secuencia didáctica. En este sentido, nuestra propuesta se desarrolla a través de dos contextos indagativos diferenciados, complementados por otras estrategias metodológicas (diálogos docente-alumnado, uso de analogías y búsqueda de información mediante medios digitales), usadas puntualmente, en función de las necesidades consideradas. De esta forma, intentamos evitar caer en algunos de los problemas que, en ocasiones, han ido ligados a muchas secuencias IBSE (reducir la clase de ciencias a enseñar a indagar, desconexión con el mundo de las ideas, teoría y conocimiento científico, etc.).

Por otro lado, en consonancia con el propio fundamento de la metodología IBSE, no hemos querido olvidarnos de la importancia de tener en cuenta las concepciones alternativas que presenta el alumnado sobre conceptos o modelos conceptuales relacionados con los contenidos a trabajar. Esto es importante, de cara a que el diseño de nuestra propuesta responda satisfactoriamente a la necesidad de tener en cuenta dichas ideas previas y, en base a ellas, elaboremos el proceso a seguir en la secuencia didáctica. En este sentido, nos hemos centrado en tres conceptos o modelos conceptuales centrales, tanto en biología como en geología, sobre los que el alumnado suele mostrar concepciones alternativas variadas y notablemente alejadas del modelo científico de referencia. De esta forma, una vez terminado el diseño, somos conscientes del elevado condicionamiento que, tener en cuenta la importancia de las ideas previas, ejerce sobre el diseño de una secuencia didáctica.

También nos parece interesante recalcar que el trabajo centrado en el desarrollo de grandes

conceptos científicos presenta una gran potencialidad didáctica. Consideramos que, a través de propuestas didácticas como la que presentamos, puede ser interesante el abordaje de múltiples contenidos relevantes, todos ellos desglosados a partir de esas grandes ideas centrales. De esta forma, la posibilidad de crear contextos de interrelación entre contenidos, tradicionalmente separados en bloques temáticos diferenciados y estancos, aumenta considerablemente, flexibilizando la forma en la que diferentes contenidos pueden ser abordados.

Además, somos conscientes de las limitaciones existentes a la hora de valorar y sacar conclusiones acerca de una propuesta didáctica que no ha podido ser implementada en la práctica. Asumimos que, tratándose de una secuencia extensa y que se fundamenta profundamente en las respuestas esperadas por parte del alumnado, es muy susceptible de incorporar modificaciones a partir de una hipotética puesta en práctica real. Asimismo, también sería de gran interés concretar de una forma más completa el proceso evaluativo, tanto en la elaboración de la rúbrica destinada a la evaluación de contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales, como a la ampliación de modalidades de evaluación, en la que se incluyan procesos de autoevaluación y coevaluación.

Finalmente, pensamos que sería interesante plantear, en un futuro próximo, una reconsideración de la propuesta didáctica, de cara a adaptarla a las necesidades derivadas de la atención a la diversidad, además de realizar una implementación práctica, que nos permitiera contribuir a evaluar su calidad.

NOTA SOBRE EL LENGUAJE: A lo largo de todo el texto se ha utilizado el género masculino como género neutro, sin intención de discriminar ni de mostrarnos ajenos a una sensibilidad contemporánea absolutamente necesaria como es la igualdad de género. Facilitar la lectura es el motivo en el que basamos el uso genérico del masculino que, por supuesto, incluye a mujeres y hombres (Bosque, 2012).

6. REFERENCIAS

- Abrams, E. y Southerland, S. (2001). The how's and why's of biological change: How learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1271-1281.
- Acevedo-Díaz, J.A., y García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 3-19.
- Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(número especial 1), 40-49.
- Alegret, L., Meléndez, A., y Trallero, V. (2001). Didáctica del tiempo en geología: apuntes en internet. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(3), 261-269.
- Banet, E. (2007). Finalidades de la educación científica en secundaria: opinión del profesorado sobre la situación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 5-20.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en educación secundaria: aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 199-214.
- Barrow, L.H. (2006). A brief history of inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265-278.
- Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación Química*, 15(3), 60-67.
- Blackwell, W.H., Powell, M.J., y Dukes, G.H. (2003). The problem of student acceptance of evolution. *Journal of Biological Education*, 37(2), 58-67.
- Bosque, I. (2012). *Sexismo lingüístico y visibilidad de la mujer*. Madrid. Real Academia Española (RAE).
- Brusi, D., Miró, J., y Soler, J. (1995). La geología y el calendario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(2), 84-90.
- Calonge, A., Bercial, M.T., García, J., y López, M.D. (2003). El uso didáctico de los fósiles en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Pulso*, (26), 117-128.
- Campanario, J.M., y Otero, J.C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- Campbell, T., Schwarz, C., y Windschitl, M. (2016). What we call misconceptions may be necessary stepping-stones toward making sense of the world. *Science and Children*, 53(7), 69-74.
- Cañal, P. (2012a). ¿Cómo evaluar la competencia científica?. *Investigación en la escuela*, 78, 5-17.
- Cañal, P. (2012b). Cómo evaluar la competencia científica en secundaria?. *Alambique*, 72, 75-83.

- Caravita, S., y Halldén, O. (1994). Re-Framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 89-111.
- Cheek, K.A. (2013). Exploring the relationship between students' understanding of Conventional Time and Deep (Geologic) Time. *International Journal of Science Education*, 35(11), 1925-1945.
- Cobern, W.W., Schuster, D., Adams, B., Applegate, B., Skjold, B., Undreiu, A., ... y Gobert, J.D. (2010). Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science. *Research in Science & Technological Education*, 28(1), 81-96.
- Comisión Europea/EACEA/Eurydice. (2012). *El desarrollo de las competencias clave en el contexto escolar en Europa: desafíos y oportunidades para la política en la materia. Informe de Eurydice*. Luxemburgo. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Consejería de Educación. (2016). *Decreto 111/2016, de 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía*. BOJA, de 28 de junio de 2016, 122, 27-45. Recuperado de http://www.juntadeandalucia.es/boja/2016/122/BOJA16-122-00019-11633-01_00094130.pdf
- Couso, D. (2014). “De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica”. En de las Heras Pérez et al., (Coord.). *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante. XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Huelva (España): APICE, Universidad de Huelva, Universidad Internacional de Andalucía.
- Crujeiras, B., y Jiménez, M.P. (2015). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 385-401.
- Dodick, J., y Orion, N. (2003). Cognitive factors affecting student understanding of Geologic Time. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 415-442.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of sciences. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- Fernández, J., Moreno, T., y González, B. (2003). Las analogías como modelo y como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 35, 82-89.
- Fernández, J.J., y Sanjosé, V. (2013). Permanencia de ideas alternativas sobre Evolución de las Especies en la población culta no especializada. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* (21), 129-149.
- Ferrés, C., Marbá, A., y Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22-37.

- FIBONACCI project (2012). Disseminating Inquiry-Based Science and Mathematics Education in Europe. Recuperado de <http://www.fibonacci-project.eu/>. Último acceso el 11 de mayo de 2016.
- Franco-Mariscal, A.J., Blanco-López, A., y España-Ramos, E. (2014). El desarrollo de la competencia científica en una unidad didáctica sobre la salud bucodental. Diseño y análisis de tareas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 649-667.
- Gallego, A., y Muñoz, A. (2015). Análisis de las hipótesis evolutivas en alumnos de Educación Secundaria y Bachillerato. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-54.
- Gándara, M., Gil, M.J., y Sanmartí, N. (2002). Del modelo científico de “adaptación biológica” al modelo de “adaptación biológica” en los libros de texto de Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 303-314.
- Gil, D., y Vilches, A. (2006). ¿Cómo puede contribuir el proyecto PISA a la mejora de la enseñanza de las ciencias (y de otras áreas de conocimiento)?. *Revista de Educación*, número extraordinario, 295-311.
- Gould, S.J. (2004). La estructura de la teoría de la evolución (Ambrosio García Leal, trad.). Barcelona: Tusquets. (Obra original publicada en 2002).
- Grau, R., de Manuel, J. (2002). Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos. *Alambique*, (32), 56-64.
- Harlen, W. (2010). *Principles and Big Ideas in Science Education*. Hatfield: ASE.
- Hidalgo, A.J., y Otero, J. (2004). An analysis of the understanding of geological time by students at secondary and post-secondary level. *International Journal of Science Education*, 26(7), 845-857.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G., y Chinn, C.A. (2007) Scaffolding and achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Hortigüela, D., Pérez, A., y Abela, V. (2016). How do teachers perceive Key Competencies? Qualitative study of its incorporation as a learning tool. *Qualitative Research in Education*, 5(1), 25-48.
- Jiménez, M.P. (1991). Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 248-256.
- Jiménez-Tejada, M.P. (2009). Los conceptos de población y de especie en la enseñanza de la biología: concepciones, dificultades y perspectivas. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Kirschner, P.A., Sweller, J., y Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Larrain, A. (2009). El rol de la argumentación en la alfabetización científica. *Estudios Públicos*, 116,

167-193.

- Lillo, J. (1994). Análisis de errores conceptuales en geología a partir de las expresiones gráficas de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 39-44.
- Lillo, J. (1995). Ideas de los alumnos y obstáculos epistemológicos en la construcción de los conceptos de fósil y fosilización. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(3), 149-153.
- López-Gay, R. (2012). Los docentes noveles ante la preparación de las clases de ciencias. *Alambique*, (72), 65-74.
- Márquez, c., Bonil, J., y Pujol, R.M. (2005). Las preguntas mediadoras como recursos para favorecer la construcción de modelos científicos complejos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, VII Congreso, 1-5.
- Márquez, C., y Roca, M. (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 61-71.
- Márquez, C., Roca, M, Gómez, A., Sardá, A., y Pujol, R.M. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras. *Investigación en la Escuela*, 53, 71-81.
- Martínez, M.M., y Bárcena, A.I. (2013). Una actividad de indagación en un aula de diversificación: “¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión?”. *Educació Química*, 14, 19-28.
- Martínez-Chico, M. (2013). Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza. Tesis doctoral. Universidad de Almería.
- Ministerio de Educación y Ciencia. (2006). *LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*. BOE, de 4 de mayo de 2006, 106, 17158-17206. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2006/BOE-A-2006-7899-consolidado.pdf>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2013a). *Guía para la formación en centros sobre las competencias básicas*. Centro Nacional de Innovación e Investigación Educativa (CNIIE). Madrid. Gobierno de España.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2013b). *LEY ORGÁNICA 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa*. BOE, de 10 de diciembre de 2013, 295, 97858-97921. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2013/12/10/pdfs/BOE-A-2013-12886.pdf>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015a). *REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE, de 3 de enero de 2015, 3, 169-546. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015b). *ORDEN ECD/65/2015, de 21 de enero de*

2015, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. BOE, de 29 de enero de 2015, 25, 6986-7003. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/29/pdfs/BOE-A-2015-738.pdf>

- Miller, J.D., Scott, E.C., y Okamoto, S. (2006). Public acceptance of evolution. *Science*, 313, 765-766.
- Minner, D.D., Levy, A.J., y Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction. What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- Mittermeier, R.A., Wallis, J., Rylands, A.B., Ganzhorn, J.U., Oates, J.F., Williamson, E.A., ... y Schwitzer, C. (2009). *Primates in peril: The world's 25 most endangered primates 2008-2010*. IUCN/SSC Primate Specialist Group (PSG), International Primatological Society (IPS), y Conservation International (CI). Arlington. Estados Unidos.
- National Science Foundation. (2010). Earth Science Literacy Principles. The Big Ideas and supporting concepts of Earth Science. Recuperado de <http://www.earthscienceliteracy.org/>. Último acceso el 24 de junio de 2016.
- OCDE. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2006). *Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura*. Informe Español. Recuperado de <https://www.oecd.org/pisa/39732471.pdf>
- OCDE. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. (2008). *Competencias científicas para el mundo del mañana*. Madrid: Santillana.
- OCDE. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. (2009). *PISA 2009. Programa para la evaluación internacional de los alumnos*. Informe Español. Recuperado de <http://www.mecd.gob.es/dctm/ievaluacion/internacional/pisa-2009-con-escudo.pdf?documentId=0901e72b808ee4fd>
- OCDE. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. (2012). *Programa para la evaluación internacional de los alumnos*. Informe Español. Recuperado de <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pisa2012/pisa2012lineavolumeni.pdf?documentId=0901e72b81786310>.
- OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013). *PISA 2015 Draft Science Framework*. Recuperado de <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>.
- Oh, P.S., y Oh, S.J. (2011). What teachers of Science need to work about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Orden ECD/65/2015. Orden de 21 de enero de 2015, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 29 de enero

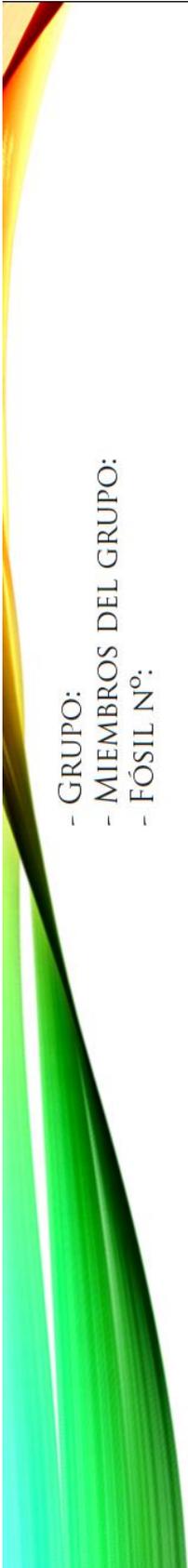
de 2015, núm. 25, pp. 6986-7003.

- Osborne, J., y Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical reflections*. Londres. Nuffield Foundation.
- Parlamento Europeo. (2006). Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 394, pp. 10-18.
- Pavón, F., y Martínez, M.M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469-492.
- Pedrinaci, E. (1992). Catastrofismo *Versus* Actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 216-222.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique*, 7, 27-36.
- 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(1), 240-251.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., ... Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 117-129.
- Quintanilla, M., Joglar, C., Jara, R., Camacho, J., Ravanal, E., Labarrere, A., Cuéllar, L., Izquierdo, M., y Chamizo, J. (2010). Resolución de problemas científicos escolares y promoción de competencias de pensamientos científico. ¿Qué piensan los docentes de Química en ejercicio?. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 185-198.
- Reyes-Cárdenas, F., y Padillas, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415-421.
- Roca, M. (2005). las preguntas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Educación*, 33(2), 73-80.
- Sadeh, I., y Zion, M. (2012). Which type of inquiry project do high school biology students prefer: open or guided?. *Research in Science Education*, 42, 831-848.
- Samarapungavan, A., y Wiers, R. (1997). Children's thoughts on the origin of species: A study of explanatory coherence. *Cognitive Science*, 21(2), 147-177.
- Sauvé, L. (2010). Educación científica y educación ambiental: un cruce fecundo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 5-18.
- 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(2), 113-119.
- Skoog, G., y Bilica, K. (2002). The emphasis given to Evolution in State Science Standards: A lever for change in Evolution Education? *Science Education*, 86(4), 445-462.

- Trend, R. (2001). An investigation into the understanding of Geological Time among 17-year-old Students, with implications for the subject matter knowledge of future teachers. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 10(3), 298-321.
- Valle, J., y Manso, J. (2013). Competencias clave como tendencia de la política educativa supranacional de la Unión Europea. *Revista de Educación*, nº extraordinario, 12-33.
- Vilches, A., y Gil, D. (2010). El programa PISA: Un instrumento para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Educación*, 53, 121-154.
- Vílchez, J.M., Benarroch, A., Carrillo, F.J., Cervantes, A., Fernández, M. y Perales, F.J. (2015). Introducción a la didáctica de las ciencias experimentales. En J.M. Vílchez (Coord.). *Didáctica de las Ciencias para Educación Primaria. I. Ciencias del espacio y de la Tierra* (pp. 21-59). Madrid: Pirámide.
- Villagrán, C., Segovia, R., y Castillo, L. (2014). Principios de la investigación en ciencias naturales históricas: ¿Por qué en biología es necesaria la Historia Natural de los organismos?. *Gayana Botánica*, 71(2), 259-266.
- Windschitl, M., y Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of School Science Investigation: The impact of preservice instruction on teachers' understandings of Model-Based Inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783-835.
- Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-Based Inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92, 941-967.
- Yus, R., Fernández, M., Gallardo, M., Barquín, J., Sepúlveda, M.P., y Serván, M.J. (2013). La competencia científica y su evaluación. Análisis de las pruebas estandarizadas de PISA. *Revista de Educación*, 360, 557-576.
- Zemba-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science Education*, 93, 687-719.

7. ANEXOS

Anexo 1 Ficha actividad 2



- GRUPO:
- MIEMBROS DEL GRUPO:
- FÓSIL N°:

ORGANISMO (TIPO DE SER VIVO AL QUE PERTENECE).

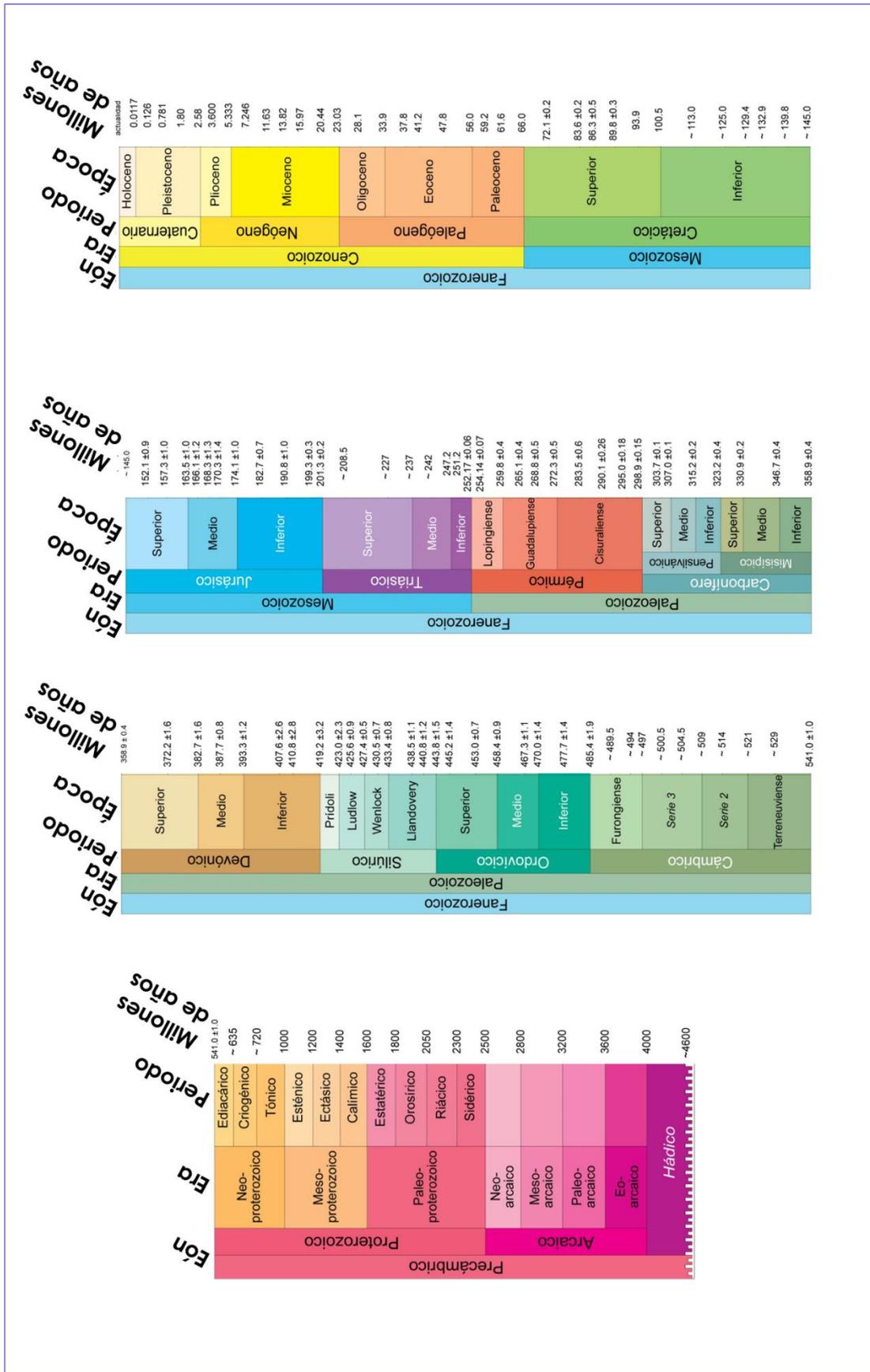
PERIODO O ÉPOCA GEOLÓGICA EN LA QUE VIVIÓ.

TIPO DE FÓSIL (PARTE DEL ORGANISMO O ACTIVIDAD REFLEJADA).

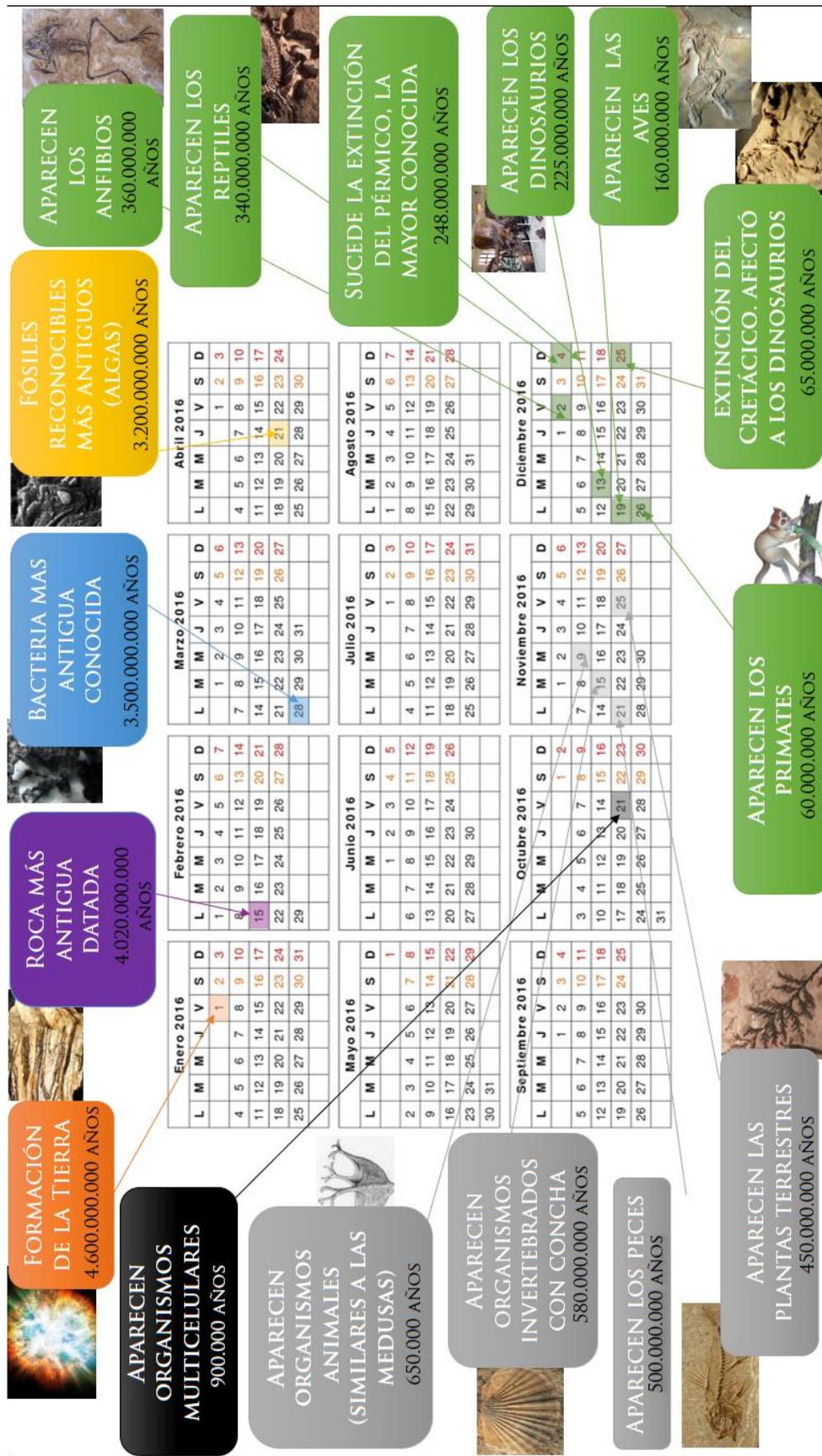
PROCESO DE FORMACIÓN.

“Un extraño descubrimiento”: propuesta de indagación para 4º de ESO a través de los fósiles.

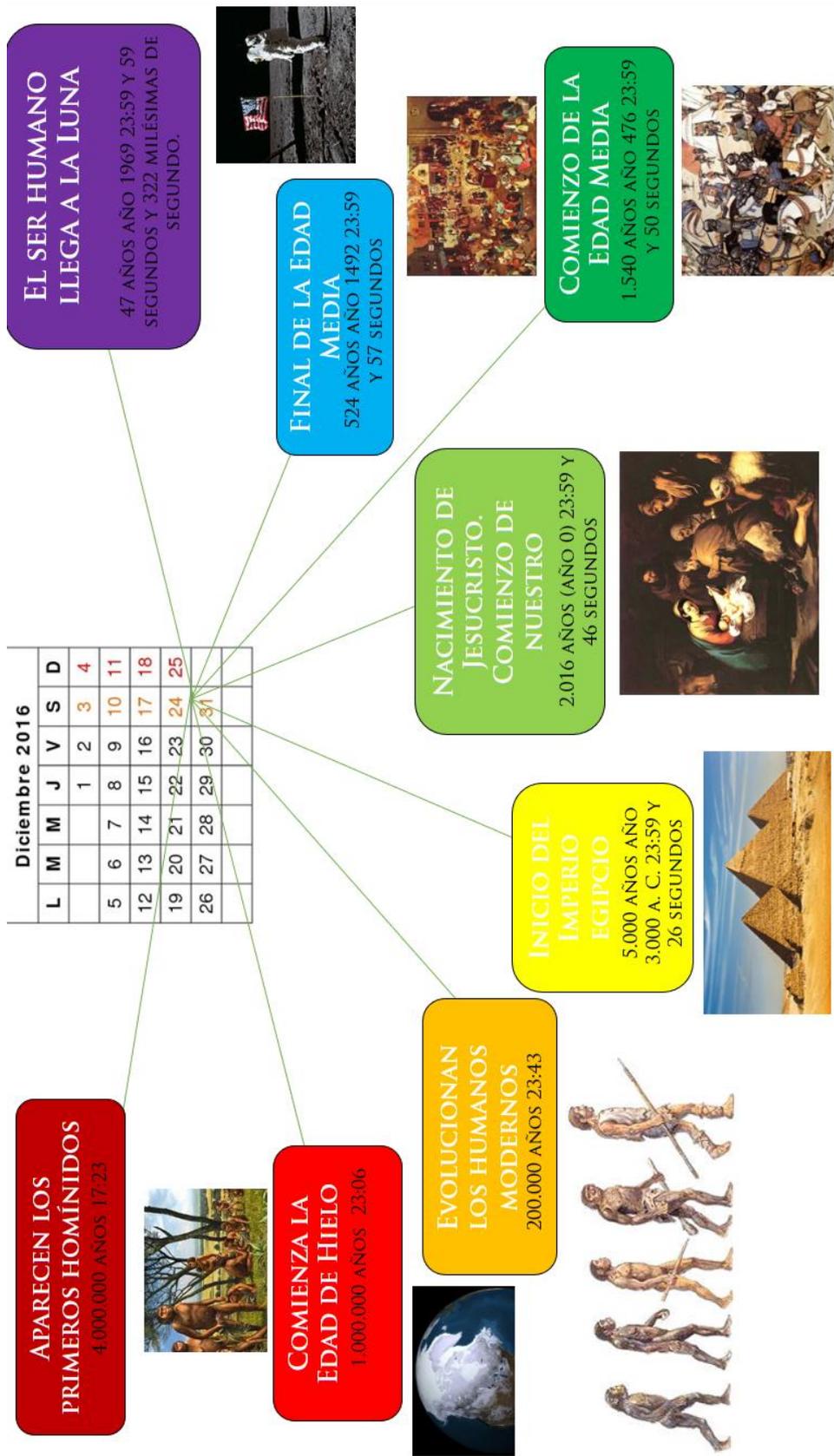
Anexo 2 Tabla cronoestratigráfica



Anexo 3 Calendario geológico I



Anexo 4 Calendario geológico II



Anexo 5 Ficha actividad 6 I

¿DE QUÉ SE ALIMENTABA NUESTRO ANIMAL?
BUSCANDO Y ANALIZANDO PRUEBAS



ANIMAL 3



ANIMAL 2



ANIMAL 1

Anexo 6 Ficha actividad 6 II

¿DE QUÉ SE ALIMENTABA NUESTRO ANIMAL?
BUSCANDO Y ANALIZANDO PRUEBAS

ANIMAL 4



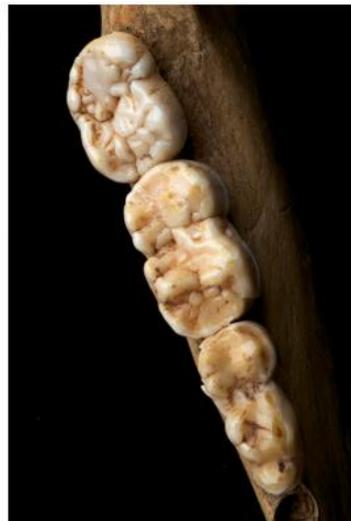
ANIMAL 5



ANIMAL 6



ANIMAL 7



ANIMAL 8



Anexo 7 Ficha actividad 6 III

¿DE QUÉ SE ALIMENTABA NUESTRO ANIMAL?
BUSCANDO Y ANALIZANDO PRUEBAS

ANIMAL 9



ANIMAL 10



ANIMAL 12



ANIMAL 11



Anexo 8 Ficha actividad 8 I

LEMUR CATTIA (LÉMUR DE COLA ANILLADA)

REINO	ANIMAL
FILO	CORDADOS
CLASE	MAMÍFEROS
ORDEN	PRIMATES
SUBORDEN	ESTREPSIRINOS
INFRAORDEN	LEMURIFORMES (LEMURES)
FAMILIA	LEMURIDAE
GÉNERO	LEMUR
ESPECIE	LEMUR CATTIA



Anexo 9 Ficha actividad 8 II

EULEMUR FULVUS (LÉMUR PARDO)



REINO	ANIMAL
FILO	CORDADOS
CLASE	MAMÍFEROS
ORDEN	PRIMATES
SUBORDEN	ESTREPSIRINOS
INFRAORDEN	LEMURIFORMES (LEMURES)
FAMILIA	LEMURIDAE
GÉNERO	EULEMUR
ESPECIE	EULEMUR FULVUS



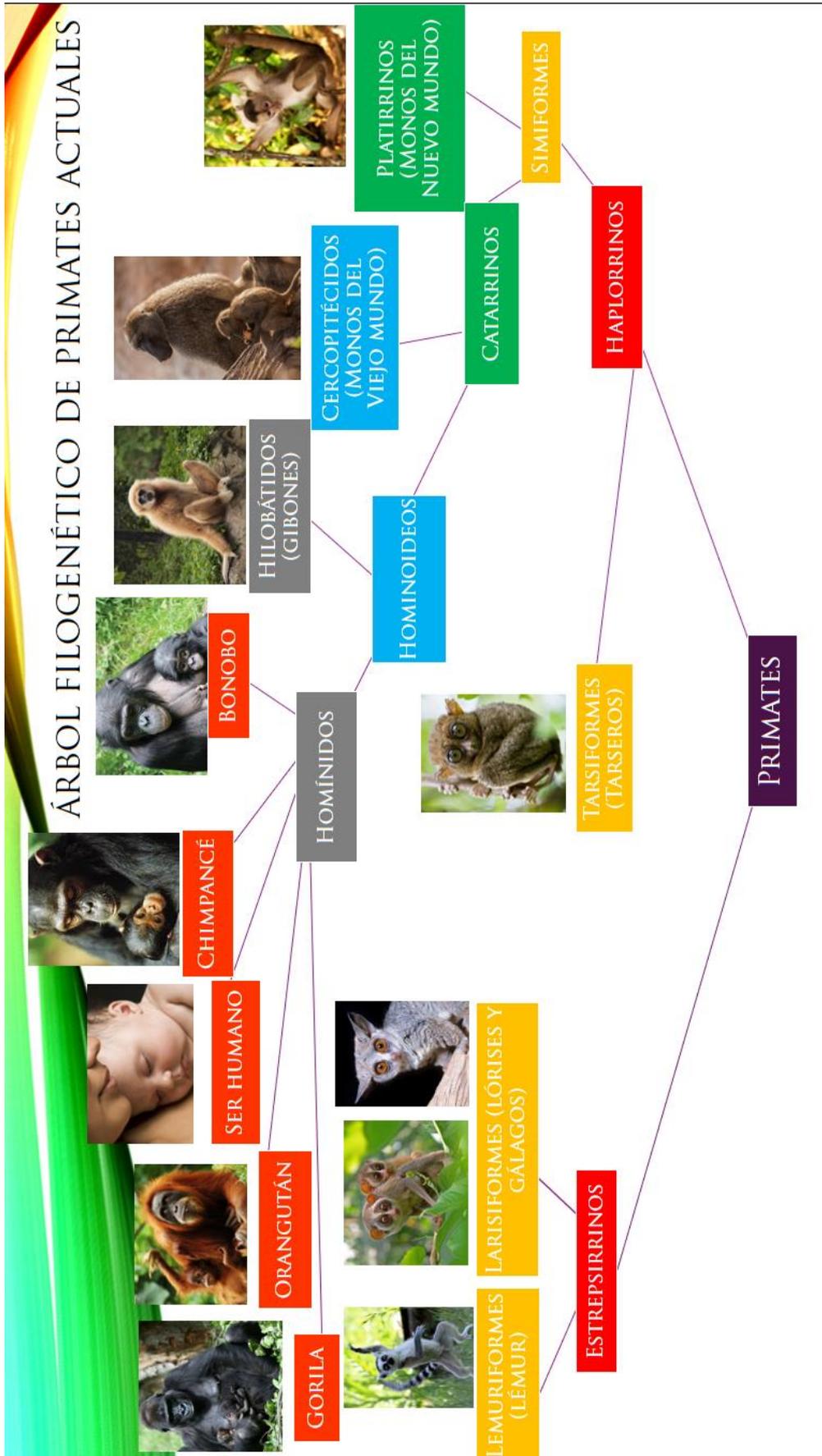
Anexo 10 Ficha actividad 8 III

OTOLEMUR CRASSICAUDATUS (GÁLAGO DE COLA ANCHA)

REINO	ANIMAL
FILO	CORDADOS
CLASE	MAMÍFEROS
ORDEN	PRIMATES
SUBORDEN	ESTREPSIRINOS
INFRAORDEN	LORISIFORMES (LÓRISES Y GÁLAGOS)
FAMILIA	GALAGIDAE
GÉNERO	OTOLEMUR
ESPECIE	OTOLEMUR CRASSICAUDATUS



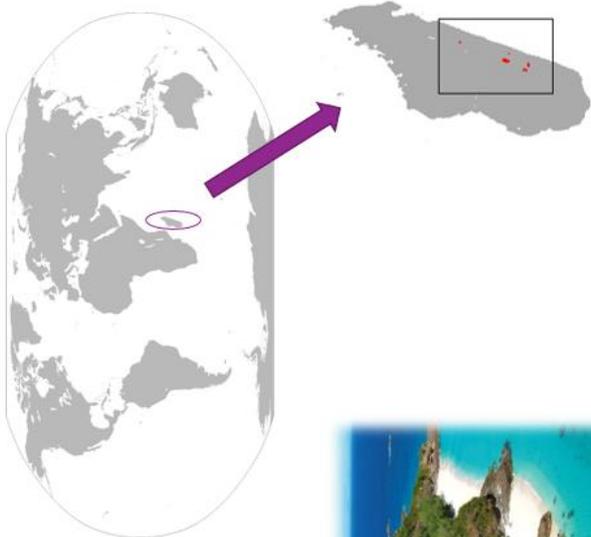
Anexo 11 Árbol filogenético



Anexo 12 Ficha actividad 9 I

PROLEMUR SIMUS (LÉMUR GRANDE DEL BAMBÚ)

DISTRIBUCIÓN



Forma de vida: Arborícola.

Dieta: Esta especie se alimenta casi exclusivamente de bambú. Como suplemento también come frutos y hongos.

Agua: Tiene alto requerimiento de agua en buenas condiciones (potable). Actualmente, el cambio climático está disminuyendo progresivamente esa disponibilidad.



PROLEMUR SIMUS



Anexo 13 Ficha actividad 9 II

EULEMUR CINEREICEPS (LÉMUR DE CABEZA GRIS)

Forma de vida: Arborícola.

Dieta: Esta especie se alimenta principalmente de frutos (frugívora), especialmente de los de pandanos (planta tropical, frecuente en Madagascar). Como suplemento consumen flores, hojas y hongos.

Parásitos: La capacidad de supervivencia de los individuos de esta especie está muy influenciada por la afectación de diferentes parásitos propios de su ecosistema. Si están muy infestados, tendrán mayores dificultades para sobrevivir.

DISTRIBUCIÓN



PANDANO



EULEMUR CINEREICEPS

Anexo 14 Ficha actividad 9 III

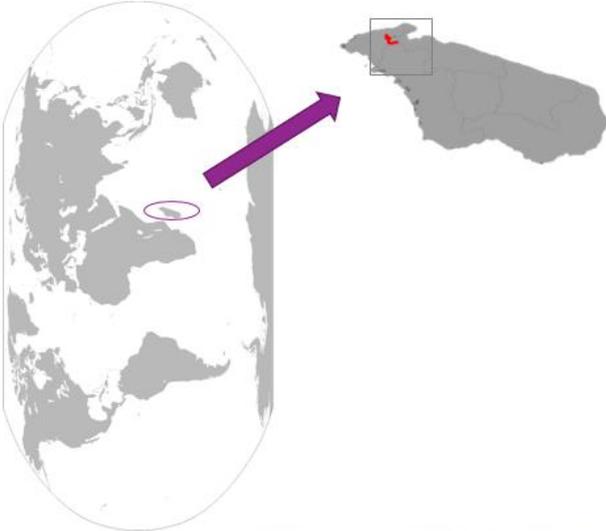
PROPITHECUS CANDIDUS (SIFACA SEDOSO)

Forma de vida: Arborícola.

Dieta: Esta especie se alimenta de hojas, frutos y semillas de diferentes especies. Normalmente, la proporción del tipo de alimento consumido es:

- Hojas: 53%
- Frutos: 35%
- Semillas: 10%

DISTRIBUCIÓN



PROPITHECUS CANDIDUS



STREBLUS DIMEPATE



Anexo 15 Ficha actividad 9 IV

EULEMUR FLAVIFRONS (LÉMUR NEGRO DE OJOS AZULES)

DISTRIBUCIÓN



EULEMUR FLAVIFRONS



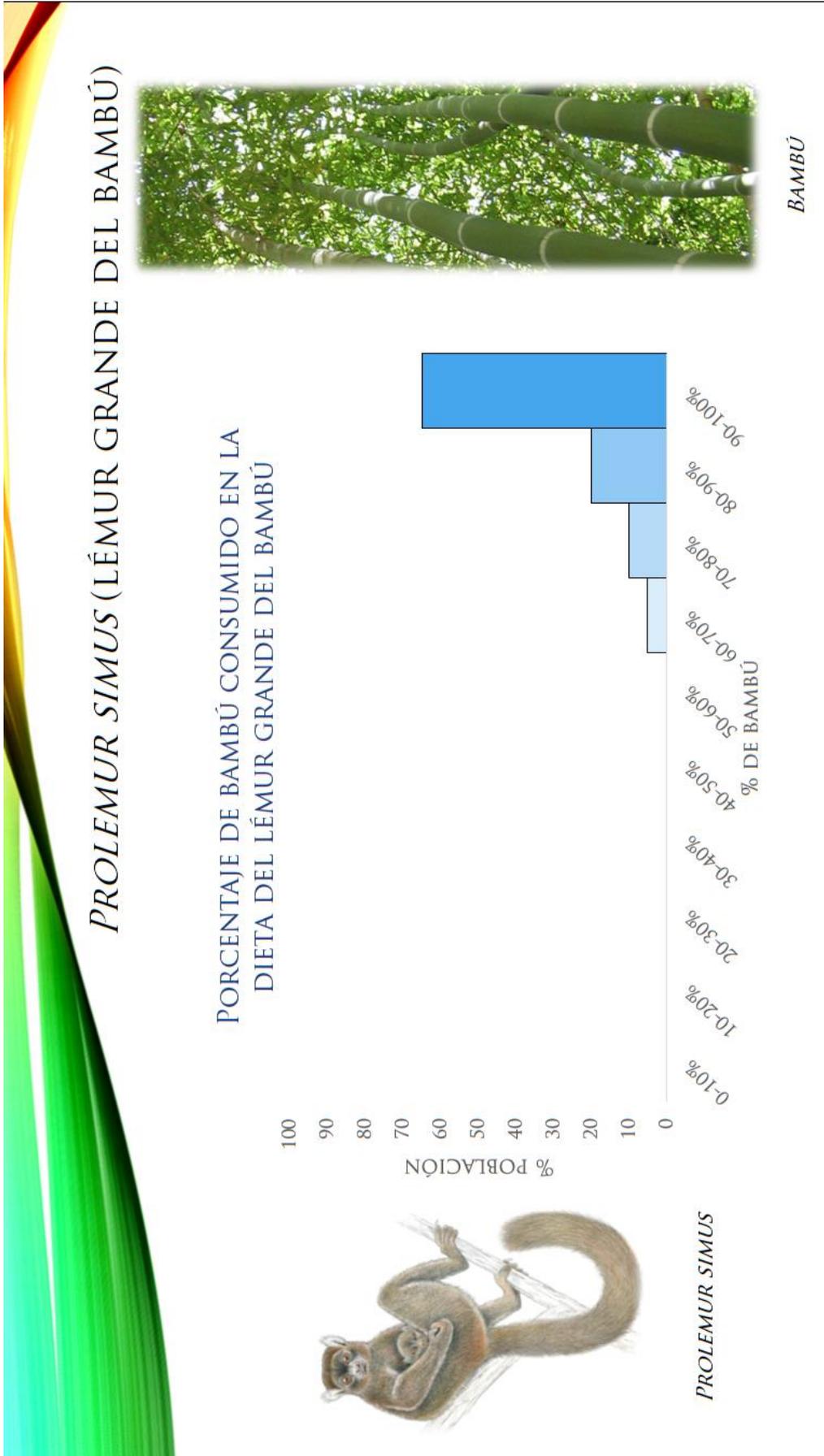
Forma de vida: Arborícola.

Dieta: Esta especie se alimenta de hojas y frutos de diferentes especies. Como suplemento consume algunos insectos, flores y hongos. Normalmente, la proporción del tipo de alimento consumido es:

- Frutos: 52,3%
- Hojas: 47,7%

Actividad: Tienen un doble periodo de actividad; están más activos por la mañana y al anochecer. La tarde y madrugada la pasan durmiendo

Anexo 16 Ficha actividad 9 V

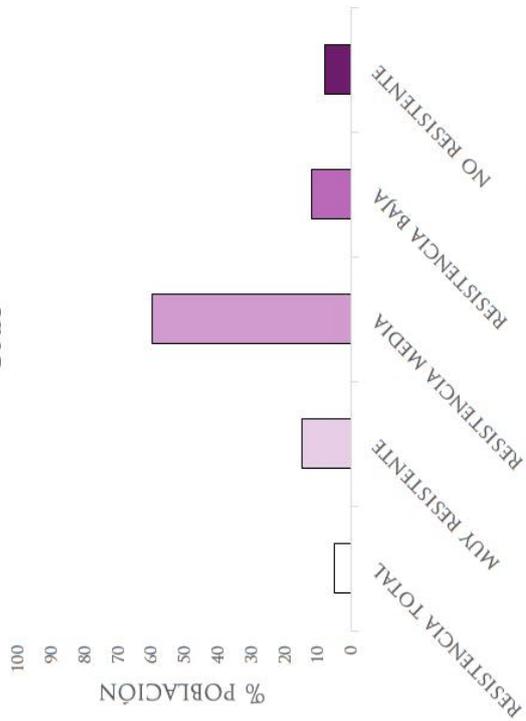


Anexo 17 Ficha actividad 9 VI

EULEMUR CINEREICEPS (LÉMUR DE CABEZA GRIS)



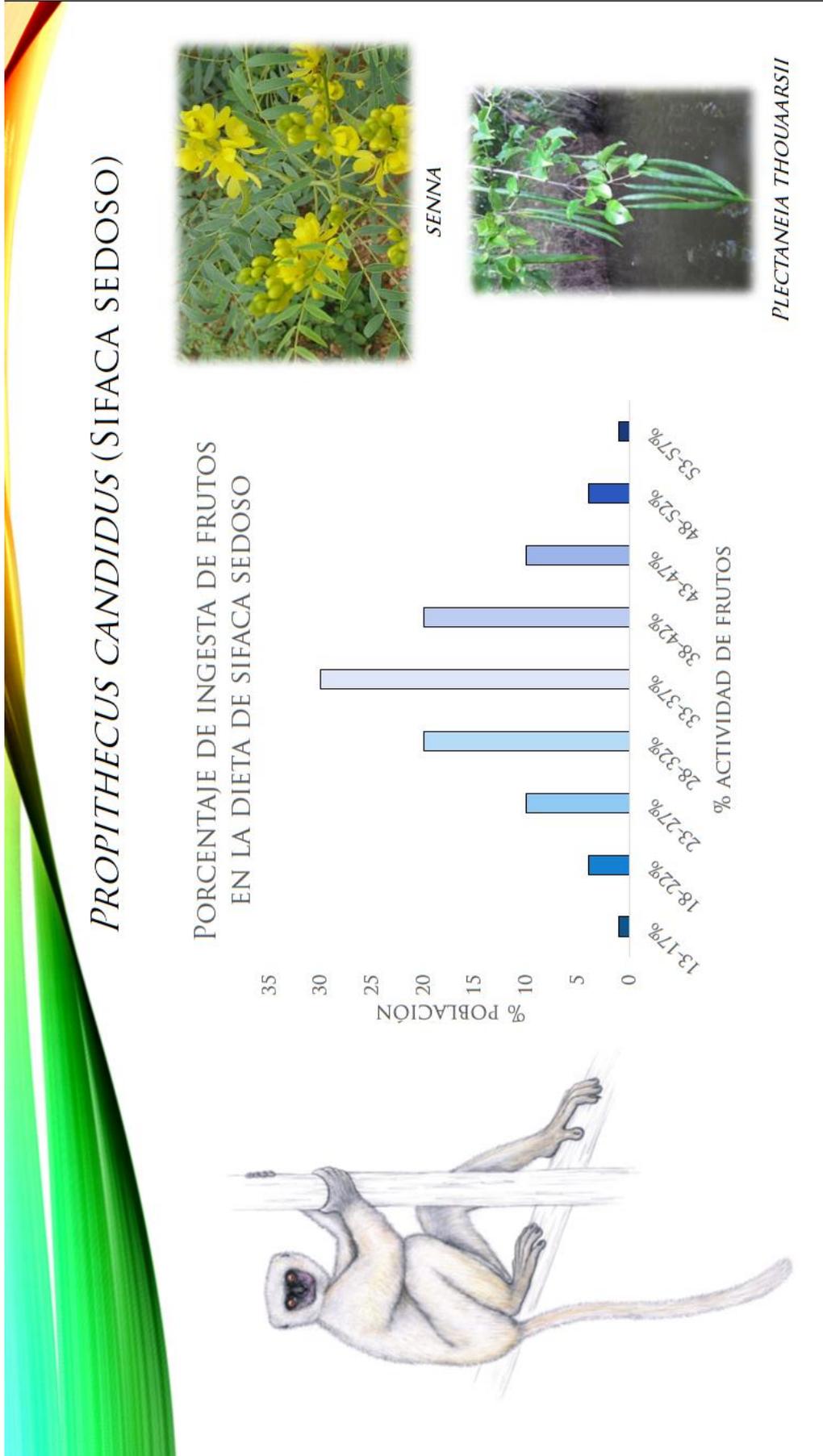
GRADO DE RESISTENCIA A PARÁSITOS DEL LÉMUR DE CABEZA GRIS



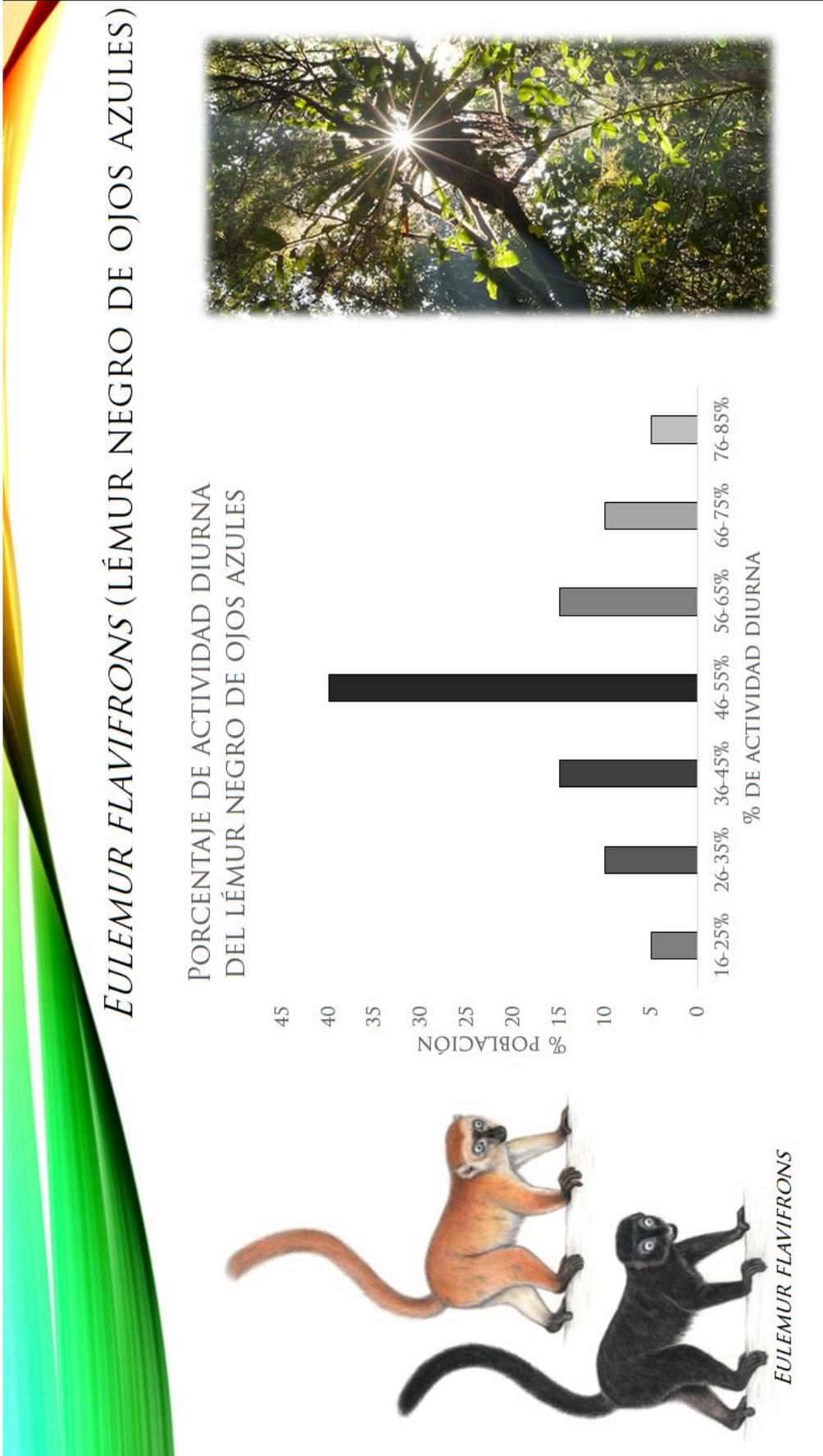
PARASITO 10X

GRADO DE RESISTENCIA AL PARASITO

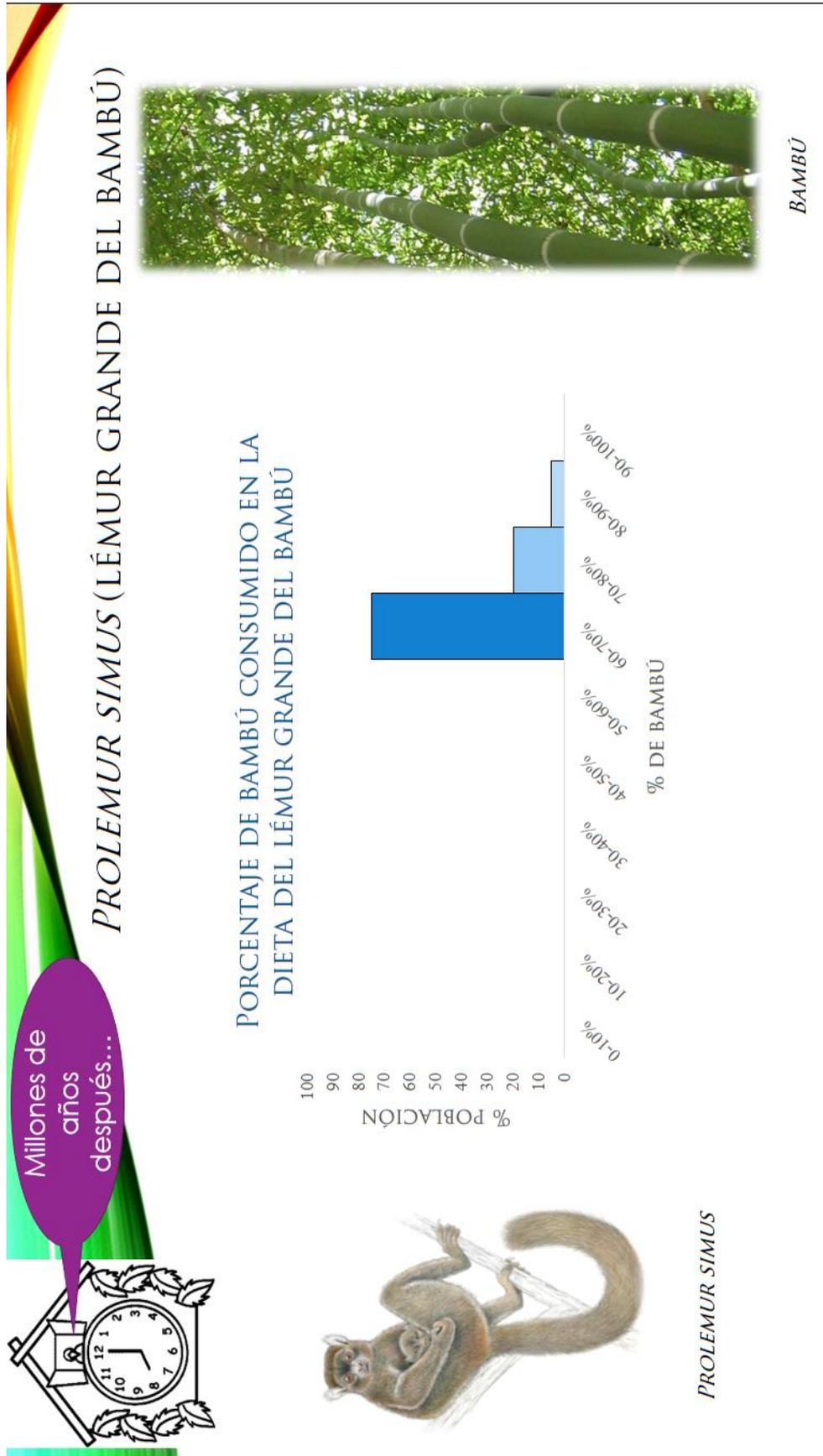
Anexo 18 Ficha actividad 9 VII



Anexo 19 Ficha actividad 9 VIII

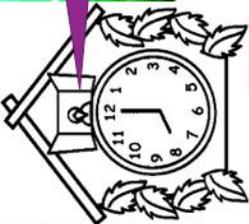


Anexo 20 Ficha actividad 9 IX



Anexo 21 Ficha actividad 9 X

Milones de años después...



EULEMUR CINEREICEPS (LÉMUR DE CABEZA GRIS)



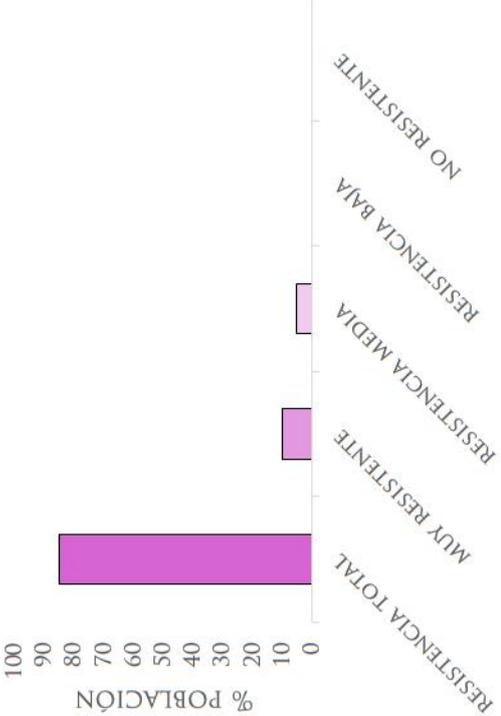
female male

EULEMUR CINEREICEPS



PARASITO 10X

GRADO DE RESISTENCIA A PARÁSITOS DEL LÉMUR DE CABEZA GRIS

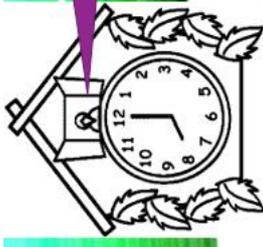


Grado de Resistencia	% Población
RESISTENCIA TOTAL	80
MUY RESISTENTE	10
RESISTENCIA MEDIA	5
RESISTENCIA BAJA	2
NO RESISTENTE	2

GRADO DE RESISTENCIA AL PARÁSITO

Anexo 22 Ficha actividad 9 XI

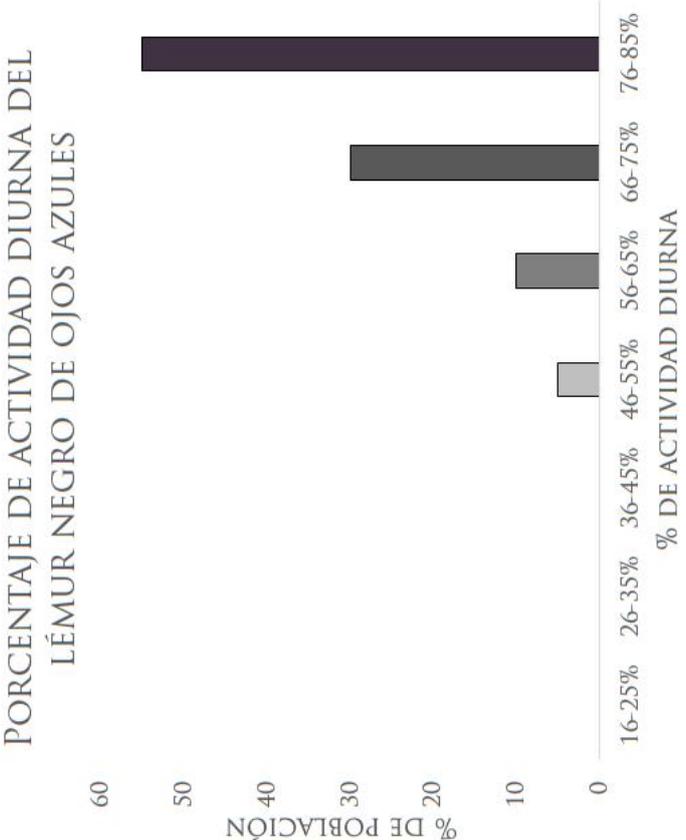
Millones de años después...



EULEMUR FLAVIFRONS (LÉMUR NEGRO DE OJOS AZULES)



PORCENTAJE DE ACTIVIDAD DIURNA DEL LÉMUR NEGRO DE OJOS AZULES



Edad	% de actividad diurna
16-25%	~5%
26-35%	~10%
36-45%	~15%
46-55%	~25%
56-65%	~35%
66-75%	~50%
76-85%	~55%

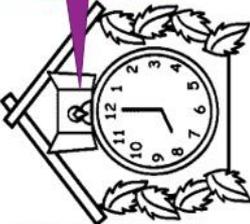
% DE ACTIVIDAD DIURNA



EULEMUR FLAVIFRONS

Anexo 23 Ficha actividad 9 XII

Millones de años después...



PROPITHECUS CANDIDUS (SIFACA SEDOSO)

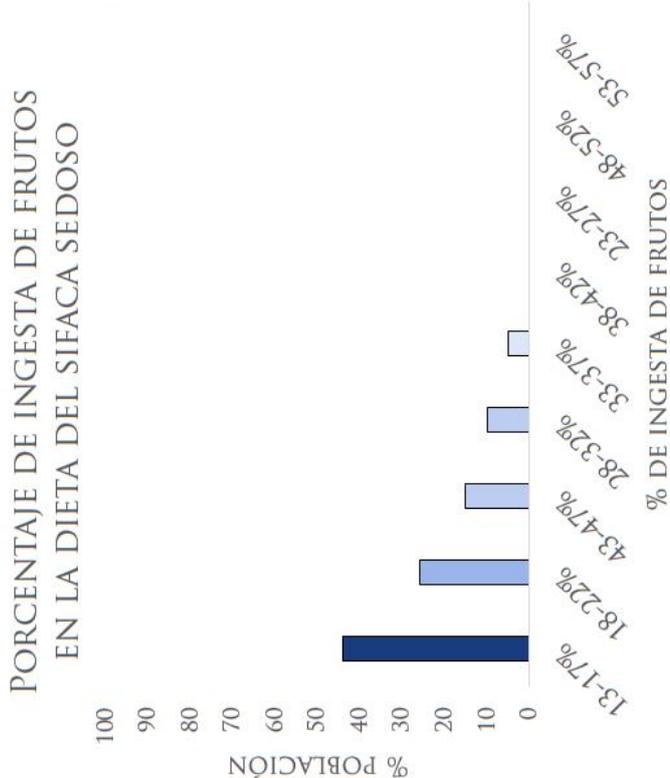


SENNA



PLECTANEA THOUARSII

PERCENTAJE DE INGESTA DE FRUTOS EN LA DIETA DEL SIFACA SEDOSO



% DE INGESTA DE FRUTOS	% POBLACION
13-17%	40
18-22%	20
43-47%	15
28-32%	10
33-37%	5
38-42%	2
23-27%	1
48-52%	1
53-57%	1



PROPITHECUS CANDIDUS

