

Reconstruir el pasado: argumentación y uso de pruebas en problemas de geología

Reconstructing the past: argumentation and use of evidence in geology problems

PALOMA BLANCO ANAYA Y JOAQUÍN DÍAZ DE BUSTAMANTE

Departamento das ciencias experimentais e da matemática. Universidade de Santiago de Compostela, USC. Avda Xoan XXIII, s/n. 15782 Santiago de Compostela. E.mail: paloma.blanco@usc.es, joaquin.diaz@usc.es

Resumen En este taller se presentan tres problemas de geología diseñados con un doble propósito, por un lado, crear ambientes que favorezcan el uso de pruebas y la argumentación, para contribuir al desarrollo de la competencia científica, y por otro lado mejorar los conocimientos de geología de los estudiantes a través de actividades que pretenden ser motivadoras. Los tres problemas están formados por conjuntos de datos que los estudiantes deben interpretar basándose en sus conocimientos sobre sedimentología, estratigrafía y paleontología. El primer problema “las icnitas de Soria” engloba una secuencia de pisadas que debe ser interpretada por los estudiantes, proponiendo hipótesis con las que expliquen qué ocurrió en las mismas. En el segundo, “¿Quiénes fueron los protagonistas de las huellas?”, deben identificar qué dos dinosaurios de entre los propuestos fueron los que generaron las icnitas. El tercero, se titula “¿Cuál es la verdadera historia del Sinclinal de O Courel?” en el que el alumnado debe escribir la historia geológica de dicho sinclinal.

Palabras clave: Competencia científica y argumentación, dinosaurios, icnitas, sinclinal, .

Abstract *In this workshop three tasks based on geology are presented. They have a twofold goal: on the one hand designing learning contexts that promote the use of evidence and argumentation, in order to contribute to scientific competency; on the other hand, improving students' geology knowledge through tasks which intend to be motivating. Therefore, the three problems are made up of a set of data which students should interpret using their knowledge about sedimentology, stratigraphy and paleontology. The first problem, “Soria's footprints”, consists in a set of footprints which must be interpreted by students, making hypothesis to explain what happened on them. In the second one, “Who were the protagonists of those footprints?”, students have to identify which two dinosaurs were the ones that originated the footprints. In the third one, “what is the real story of O Courel's syncline?”, the students' task is to write the geology story of this syncline.*

Keywords: *Dinosaurs, footprints, scientific competency and argumentation, syncline.*

INTRODUCCIÓN

En este taller se presentan tres problemas de geología, diseñados para estudiantes de educación secundaria, que se engloban en un estudio más amplio sobre la contribución al desempeño de la competencia científica a través de problemas prácticos de geología. Las tres actividades comparten una doble finalidad, por un lado se quiere contribuir a que el alumnado desarrolle su capacidad de argumentar y por otro lado se pretende crear propuestas didácticas novedosas para trabajar contenidos de geología. No obstante, entendemos que estas dos cuestiones se desarrollan conjuntamente mediante

diseños específicos de actividades que así lo promuevan pues, como destaca Jiménez-Aleixandre (2008), aprender a argumentar no puede ser considerado como un objetivo desconectado del propio aprendizaje de las ciencias.

La competencia científica ha adquirido cierta relevancia en los últimos años debido a la influencia de los programas de evaluación internacionales tales como PISA (OCDE, 2006). Esta competencia requiere la capacidad de “*utilizar el conocimiento científico en contextos cotidianos, de aplicar los procesos que caracterizan a las ciencias y sus métodos de investigación*” (Cañas, Martín-Díaz y Nieda, 2007, pág 33).

Problemas propuestos	Contenidos conceptuales
1- Las icnitas de Soria	Yacimiento paleontológico Características de las icnitas: tamaños, distancias, ángulos de zancada
2-¿Quiénes fueron los protagonistas de las huellas?	Etapa geológica de las icnitas: Cretácico inferior. Sucesión de las edades de los dinosaurios Tiempo en geología (millones de años) Características de los dinosaurios: herbívoro/carnívoro, bípedo/cuadrúpedo, masas corporales, tamaño corporal.
3-¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?	Periodos del Paleozoico: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico. Tiempo en geología (Millones de años) Cronología de los estratos Características de los estratos: composición (pizarras, calizas, esquistos), potencias, periodos de formación y fósiles guía (<i>Didymograptus</i> , <i>Monograptus</i> , <i>Archaeocyatha</i> y braquiópodos). Formación del sinclinal: sedimentación, formación de los estratos y fuerzas tectónicas que ocasionan el plegamiento. Antiguos bloques continentales: Gondwana y Laurasia

Tabla I. Contenidos conceptuales incluidos en cada una de las actividades propuestas.

Como se indica en el informe PISA 2006 (OCDE, 2006) la competencia científica presenta tres dimensiones que son:

1) *Identificar cuestiones científicas*: según la cual los estudiantes deben ser capaces de discernir si un interrogante puede ser respondido por la ciencia, diseñar metodologías y experimentos para responder a estos interrogantes, etc. Consideramos que se contribuye al desarrollo de esta habilidad con la actividad “las icnitas de Soria” (que se presenta a continuación), ya que los estudiantes deben aplicar una metodología similar a la de los paleontólogos para responder al problema.

2) *Explicar fenómenos de forma científica*: esta segunda dimensión incluye destrezas tales como generar una explicación al fenómeno que se está trabajando a partir del modelo teórico que subyace en él. Esta dimensión se aborda en las tres actividades, ya que, tomando como ejemplo la actividad “¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?”, los estudiantes deben aplicar de forma conjunta el modelo de formación de sinclinales, con el de la tectónica de placas, el de sedimentación y el de formación de los estratos. De no ser así los datos proporcionados no podrán ser interpretados de forma adecuada en la justificación de sus respuestas.

3) *Usar pruebas científicas*: esta dimensión es la que adquiere mayor protagonismo en las actividades que se presentan en este trabajo, puesto que en todas ellas hay un conjunto de datos en diferentes formatos (imágenes, textos y tablas) que deben ser interpretados por el alumnado e integrados como pruebas en sus justificaciones. Por ejemplo, en el caso de la actividad “¿Quiénes fueron los protagonistas de las huellas?” los estudiantes disponen de datos acerca de las características de cuatro dinosaurios para atribuirles a dos de ellos el protagonismo en las icnitas.

Estas tres dimensiones están ligadas en la práctica aunque se definan por separado (Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig, 2009) ya que al identificar cuestiones científicas se determina si un fenómeno

no puede ser o no explicado a través de un modelo científico y, a su vez, para evaluar el modelo se requiere el uso de pruebas científicas.

Además de considerar la competencia científica como eje central de estas actividades, los contenidos conceptuales que en ellas se abordan están relacionados con: a) la *paleontología*, para conocer cómo se forman los fósiles, así como entender qué tipo de información nos proporcionan, b) el *tiempo geológico*, en particular deben ser capaces de manejar el tiempo en millones de años y emplear los términos de periodos y etapas geológicas, y c) la *estratigrafía*, en especial con cómo se han formado los estratos y su relación con el tiempo geológico. En la tabla I se detallan los contenidos conceptuales que se abordan en cada una de las actividades que se describirán a continuación.

Debido a que se trabajan estos contenidos debemos tener en cuenta lo que nos dicen al respecto estudios sobre ideas alternativas de los estudiantes, vinculadas a estas disciplinas. En una entrevista a un alumno (15 años) realizada por Pedrinaci (2001) se observa que para el alumno la formación de la roca es previa a la aparición de un fósil en ella. En estudios realizados por Trend (1998) con alumnos de 10-11 años (5º de Primaria), se apreció que únicamente se diferenciaban dos zonas temporales la “extremadamente antigua” y la “menos antigua” con las que ordenar sucesos que habían tenido lugar en la Tierra. Aunque se pudiera pensar que los conocimientos mejoran en la secundaria, en un estudio llevado a cabo por Blanco Anaya y Díaz de Bustamante (2012) en el que estudiantes de 4º de ESO tenían que simular el proceso de formación de una cuenca sedimentaria, dos estudiantes confundieron los estratos, generados por procesos de erosión-transporte-sedimentación, con las capas del interior terrestre, esto es corteza, manto y núcleo.

En el caso de las actividades que se proponen a continuación, hay que indicar que las dificultades que presentan los estudiantes están relacionadas, por una lado, con los conocimientos conceptuales que han de manejar y, por otro lado, con las estrategias o los procedimientos que deben usar para resolver los problemas. Por ejemplo, para la identificación de los dinosaurios que ocasionaron esas huellas se les proporcionan tres tipos de datos: forma de locomoción, periodo geológico en que vivieron y tipo de alimentación. Los estudiantes comienzan considerando el tipo de locomoción y de alimentación y sólo recurren a la cronología cuando se dan cuenta de que la necesitan para resolver el problema, mientras que si hubieran comenzado por analizar cuáles de los dinosaurios eran coetáneos la resolución sería más sencilla. El problema es que la escala en millones de años les resulta inimaginable o bien como indica García Cruz (1998), la adquisición de la noción de tiempo geológico resulta complicada por la falta de observación directa de los fenómenos geológicos, lo que reitera la necesidad de abordar estos contenidos de una forma innovadora en la que la interpretación de los datos relacionados con el tiempo geológico tenga un papel importante (Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos, 1996).

USO DE PRUEBAS Y LA ARGUMENTACIÓN

La argumentación tiene una dimensión social y está presente en actividades propias de la vida cotidiana (Goldstein, Crowell y Kuhn, 2009). Entendemos por argumentación el proceso de relacionar los datos con las conclusiones o bien de evaluar enunciados teóricos mediante pruebas (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003).

El uso de pruebas, como dimensión de la competencia científica, presenta un papel importante dentro de la comunidad científica ya que permite crear argumentos con los que defender las distintas hipótesis o conclusiones (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000). Por ello, la argumentación también tiene un papel central en el proceso de elaboración del conocimiento, como señala Jiménez Aleixandre (2011) entre otros, ya que es una forma de evaluar y comunicar conocimiento.

Con el fin de concretar la terminología empleada en el presente trabajo y de acuerdo con la definición de Jiménez Aleixandre (2010), se entiende por *prueba* aquel dato integrado en una justificación con el que se pretende afirmar o negar una conclusión. Esto quiere decir que no todos los datos adquieren el rol de prueba, de modo que consideramos interesante ver cuáles de ellos son empleados por los estudiantes para apoyar sus afirmaciones, de forma similar al estudio realizado por Jiménez-Aleixandre y Puig (2011), en el que se analizaron las pruebas empleadas por el alumnado para dar una explicación causal a la velocidad de diversos atletas reconocidos a nivel mundial.

El patrón de argumentación propuesto por Toulmin (1958) constituye una herramienta muy útil para el análisis de esta dimensión. La estructura de este esquema nos ayuda a comprender si las justificaciones de los estudiantes conectan los datos que se les proporcionan con las conclusiones que establecen. Los elementos del esquema de Toulmin (Fig. 2, como aplicación de este esquema) son: el *dato*, el *enunciado* (o conclusión), las *justificaciones* (que conectan el dato con el enunciado), los *respaldos teóricos* de dichas justificaciones, los *calificadores modales* y las *refutaciones*. No todos los argumentos deben presentar estos elementos, pues lo normal es que en un argumento individual nos encontremos el dato y la conclusión unidos por una justificación.

Sin embargo, como se ha visto en el análisis de la argumentación de la actividad “las icnitas de Soria”, la argumentación en grupos favorece la aparición de refutaciones y de contraargumentos (Blanco Anaya y Díaz de Bustamante, 2014). Aunque ambos elementos buscan invalidar el argumento, lo hacen de diferente manera, mientras una refutación rechaza una de las justificaciones que sostiene el argumento principal, el contraargumento es un argumento completo con el que se da una explicación alternativa a la del argumento principal (Kuhn, 1991).

En opinión de Erduran, Simon y Osborne (2004) la presencia de refutaciones muestra en cierta medida la calidad de la argumentación, pues cuando un estudiante refuta las pruebas que sostienen un argumento significa que ha comprendido el papel de las pruebas, sin embargo, con el uso de contraargumentos no cuestionan el argumento principal,

sino que constituye un argumento alternativo. Este tipo de elementos argumentativos adquieren mucha importancia en la puesta en común de las actividades que se presentan, pues lo habitual es que los estudiantes interpreten o integren los datos en sus justificaciones de formas diferentes, por lo que las refutaciones y los contraargumentos se convierten en formas de persuadir a la audiencia.

La argumentación es un proceso discursivo que puede ser oral o bien escrito. Las actividades que aquí se presentan contribuyen a ambas formas de argumentación, pues se realizan en grupo lo que contribuye a que los estudiantes dialoguen antes de dar una respuesta argumentada por escrito.

Se han encontrado pocos estudios en los que se analice la argumentación en un contexto de geología o de ciencias de la Tierra, y aunque la argumentación como práctica científica presente características comunes entre disciplinas, existen algunas particularidades. Por ejemplo, como indican Ault (1998) y Apedoe (2007), la geología es una disciplina única en cuanto a sus métodos de investigación, ya que la interpretación de los fenómenos geológicos está principalmente basada en observaciones e inferencias (Ault, 1998). Sin embargo, consideramos que a la hora de fomentar la argumentación en el aula de ciencia no supone mayor diferencia el hacerlo en un contexto de Biología o Geología, sino que las mayores diferencias pueden deberse a dificultades asociadas al entendimiento de la propia materia. Un ejemplo de ello es un estudio que realizamos actualmente (Blanco Anaya y Díaz de Bustamante, 2013), en que los estudiantes tenían que realizar una maqueta de una cuenca sedimentaria a partir de la interpretación de tres columnas estratigráficas, en el que se comprobó que el alumnado era capaz de identificar los datos que tenía que emplear para resolver el problema, pero debido a una carencia de conocimientos de estratigrafía la mayoría de los estudiantes no fueron capaces de interpretar esos datos de forma adecuada.

Teniendo en cuenta esto, los problemas o actividades con los que queramos fomentar la capacidad de argumentar del alumnado deben ser diseñados con esa finalidad. En opinión de Jiménez-Aleixandre (2008) éstos deben ser problemas auténticos que no tengan una respuesta evidente y requieran de una estrategia de resolución para ello. Además el papel del alumnado debe ser activo, ellos tienen que actuar como productores del conocimiento en lugar de consumidores del mismo (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002) y el papel del docente debe limitarse a dirigir la tarea estimulando que los estudiantes empleen pruebas. Estos aspectos se han tenido en consideración a la hora de elaborar los problemas que se describen a continuación.

LAS ICNITAS DE SORIA

Las icnitas de Soria es un problema compuesto por un conjunto de huellas contextualizadas en un yacimiento paleontológico de Soria las cuales deben ser interpretadas por los estudiantes.

Antecedentes de la propuesta

Los primeros en realizar una propuesta didáctica con esta secuencia de pisadas fueron Hurd et al. (1989), la cual es una secuencia inventada con un fin didáctico como asegura Lockley (1993).

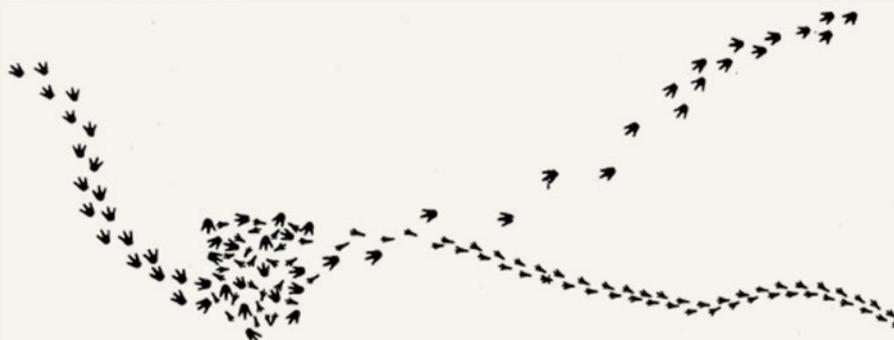
No obstante, nosotros tomamos estas pisadas del trabajo de Lederman y Abd-El-Khalick (1998), quienes emplean esta secuencia con la finalidad de ayudar a que los estudiantes comprendan mejor la naturaleza de la ciencia. En particular, contribuye a que los estudiantes diferencien una observación de una inferencia así como a que se den cuenta de que hay varias interpretaciones posibles para un mismo conjunto de datos. En esta propuesta lo único que se les muestra a los estudiantes son las huellas por lo que hay una amplia variedad de respuestas posibles. Sin embargo, nosotros decidimos contextualizarla en “Soria (España)” y en “un yacimiento paleontológico”, ya que ambos datos delimitan en cierta medida el número de respuestas coherentes, lo cual es interesante dado que queremos favorecer la elaboración de argumentos, contraargumentos y refutaciones,. De modo que si todas las respuestas fuesen válidas no habría lugar para la argumentación (Kuhn, 2005). Según Izquierdo (2000) otra de

Propuesta didáctica y procedimiento de resolución

La propuesta didáctica está compuesta por un enunciado que especifica el contexto del problema: *un yacimiento paleontológico de Soria*, sigue con la imagen de la secuencia de huellas y termina indicando que, por grupos, hay que esclarecer qué ocurrió en esta secuencia.

La resolución de este problema requiere que el alumnado se ponga en la piel de un investigador para buscar las interpretaciones posibles a estas pisadas. Como afirma Lockley (1993) este trabajo comienza por estudiar la geología del terreno en el que las icnitas están inmersas, su tamaño, profundidad, orientación, etc. A continuación se representan en un plano o una réplica para su posterior interpretación, lo cual es un proceso bastante subjetivo. En esta actividad el alumnado desconoce los datos geológicos, partiendo de lo que sería una réplica de las icnitas. Por ello, lo que los estudiantes deben realizar es observar, hacer las correspondientes inferencias y proponer una conclusión acorde con los datos extraídos. En este proceso las pautas que dan pie a la argumentación son 1) las observaciones les permiten obtener *datos* con los que 2) infieren las *pruebas* para justificar sus conclusiones.

Los alumnos de 1º de bachillerato, del IES Antonio Machado de Soria, encontraron un conjunto de pisadas en un yacimiento paleontológico próximo a la ciudad. Tras tomarles fotografías y analizarlas, no logran esclarecer qué ocurrió en esa secuencia de pisadas. Por este motivo decidieron enviar un dibujo de las mismas a diferentes IES de España para que otros alumnos/as les ayuden. Este conjunto de pisadas es el que se muestra a continuación:



Por grupos, debéis esclarecer qué ocurrió en esa secuencia de pisadas. Después, el conjunto de todo el aula deberá extraer una conclusión, que será la que se envíe como respuesta a los compañeros del IES de Soria. ¿Necesitaríais conocer alguna otra cosa?

las finalidades de esta propuesta es que los estudiantes tengan constancia de que los científicos no saben lo que ocurrió realmente.

Otro estudio en el que se ha propuesto una secuencia de pisadas con fines didácticos es el de Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos (1996). Estos autores emplean un conjunto de icnitas diferente y de mayor complejidad titulada “¿Quién se comió al dinosaurio?”, en la que se busca que los estudiantes reconstruyan la secuencia de acontecimientos que tuvieron lugar. Cabe resaltar que, como indican los autores, no se trata de que los estudiantes reproduzcan el trabajo de los profesionales, pero esto no debe suponer un impedimento para que intenten resolver casos menos complejos.

A nuestro modo de ver, para proporcionar una respuesta completa a este problema proponemos la división de la secuencia en cinco tramos transversales (Fig. 1), lo que permite realizar inferencias de lo que hacen los individuos de forma conjunta.

A partir de esta división podemos realizar una explicación individual de qué tuvo lugar en cada uno de los tramos para generar una explicación completa de lo que ocurrió en toda la secuencia.

Basándonos en la Paleocnología, uno de los datos clave para justificar qué ocurrió es el ángulo de zancada, formado por tres pisadas consecutivas (con alternancia de extremidad), indica que a mayor ángulo, mayor velocidad y viceversa (Lockley, 1993). A modo de resumen, una de las posi-

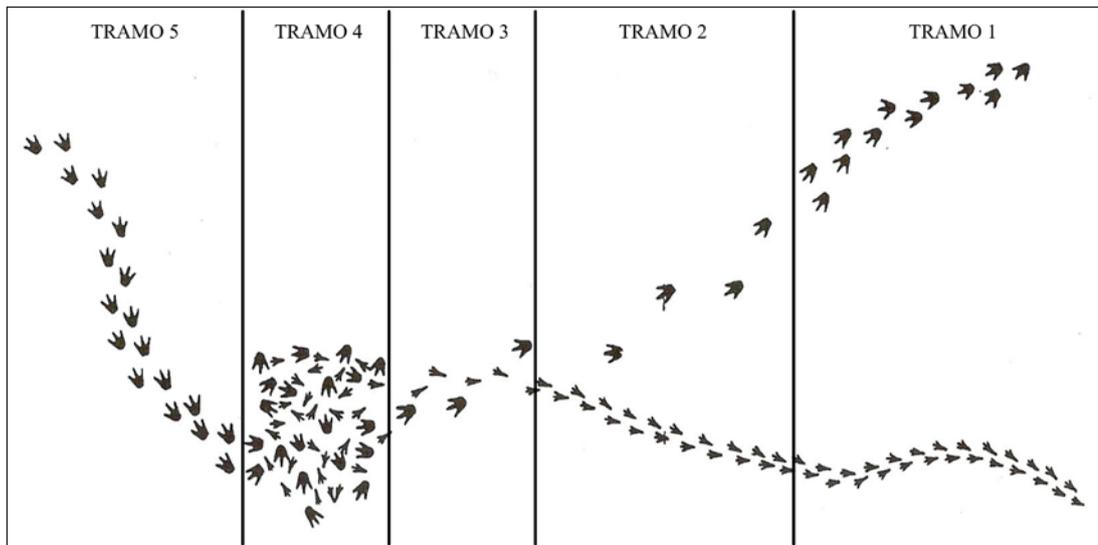


Fig. 1. División de la secuencia de icnitas propuesta para su análisis.

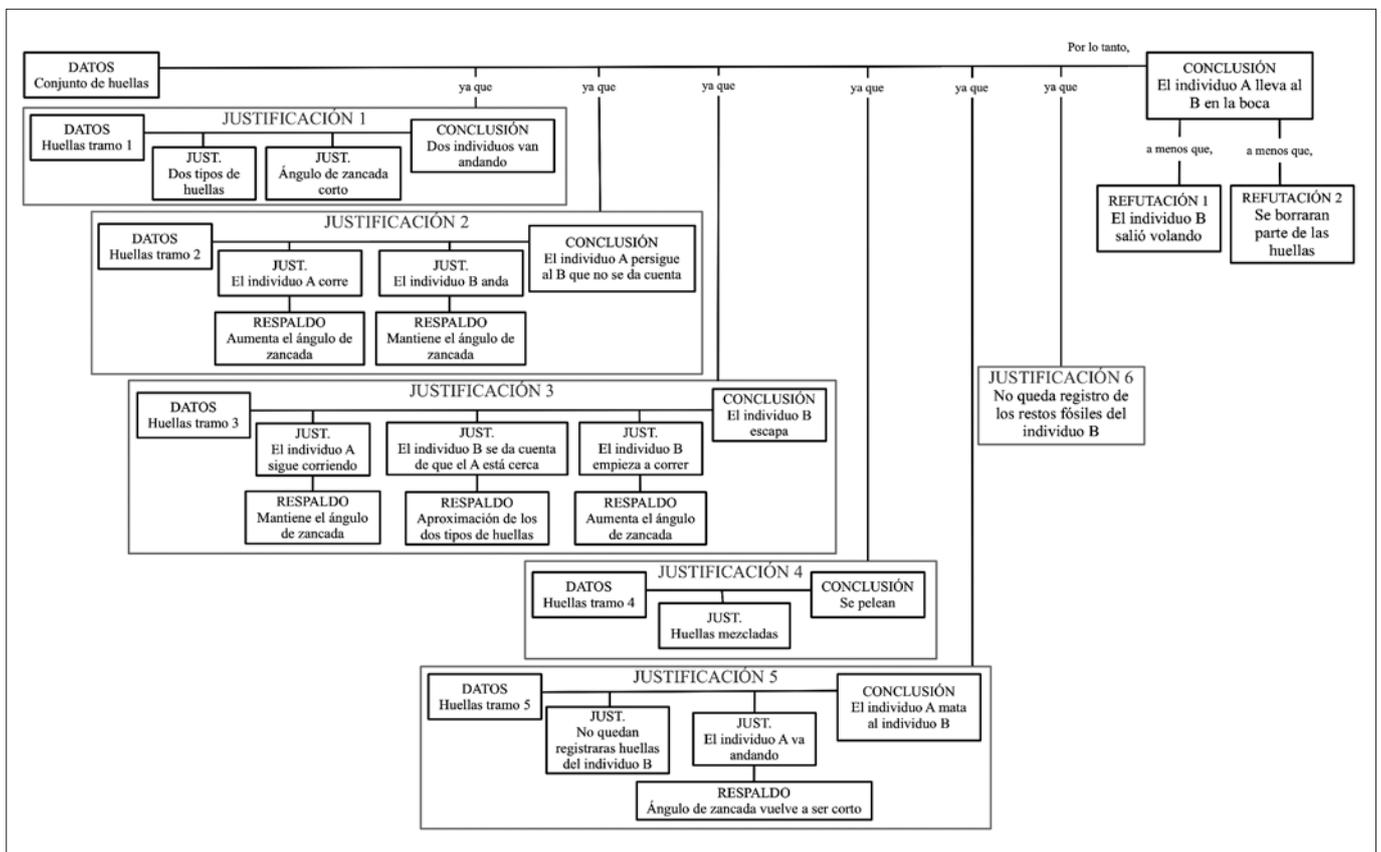
bles interpretaciones de la secuencia de huellas es: en el primer tramo ambos individuos van andando, en el segundo, el de huellas grandes empieza a correr, pues su ángulo de zancada aumenta, en el tercero los dos corren. Mientras que en el cuarto el ángulo de zancada no nos ayuda, pero en el quinto podemos volver a afirmar que las únicas pisadas que quedaron registradas indican que el individuo va andando. Por lo tanto, queda un último interrogante ¿qué ha pasado con el individuo del que no quedan huellas registradas? Podría ser comido por el otro, salir volando, que sus huellas se borrarán o incluso que las huellas de ambos individuos pertenezcan a momentos diferentes, es decir, que no fueran sucesos simultáneos. Los

argumentos para cada uno de los tramos se muestran en la fig. 2.

Para terminar, una de las preguntas que se plantea es “¿necesitarías conocer alguna otra cosa?” para dar oportunidad a que los estudiantes indiquen si necesitan más datos para corroborar sus conclusiones, tales como la profundidad de las huellas en diferentes tramos o las dimensiones reales de las mismas.

En el momento en que se ha llegado a una conclusión dentro de los pequeños grupos se establece una puesta en común en la que cada grupo expone sus argumentos, de este modo pueden percibir que un mismo conjunto de datos da lugar a varias interpretaciones.

Fig. 2. Esquema referencial siguiendo a Toulmin para la secuencia de icnitas, tomado de Blanco Anaya y Díaz de Bustamante (2014).



¿QUIÉNES FUERON LOS PROTAGONISTAS DE LAS HUELLAS?

Este problema constituye una segunda parte del problema “las icnitas de Soria” pues comienza datando las icnitas en un periodo de tiempo de entre 145 a 120 millones de años de la actualidad. El principal objetivo de esta segunda parte es que los estudiantes averigüen a qué dos dinosaurios se les podría atribuir el protagonismo en la secuencia de icnitas anterior.

El procedimiento de resolución de este problema consiste en interpretar los datos proporcionados para justificar a qué dos dinosaurios corresponden las huellas. Los datos proporcionados son de tres tipos: 1) características de las huellas, lo cual incluye si son bípedos o cuadrúpedos y el tamaño relativo de las mismas, 2) tipo de alimentación, si son carnívoros o herbívoros, y 3) el periodo geológico en que vivieron. Los tres tipos de datos son importantes para resolver el problema, sin embargo la información más relevante es la cronología de las icnitas y de los dinosaurios.

Según estos datos, como respuesta más idónea cabe indicar que el *Giganotosaurus* queda descartado porque su existencia es posterior al Cretácico inferior; el *Baryonyx* al ser piscívoro es probable que no sea el depredador, pero podría ser la presa ya

que vivió durante el Cretácico inferior; el *Utahraptor* es carnívoro y podría ser el depredador o la presa, ya que también existió durante el Cretácico inferior; y, por último, el *Hypsilophodon* al ser herbívoro solo podría corresponder con la presa, y aunque sea durante un breve periodo de tiempo sí existió durante el Cretácico inferior. De modo que estamos ante tres posibles candidatos por ser coetáneos en algún momento de sus vidas. De modo que, hay que considerar otras pruebas como el tamaño de las huellas y la alimentación. En primer lugar, por la diferencia de tamaño de las huellas que se observa en la imagen, se puede considerar que *Baryonyx* y *Utahraptor* no son los protagonistas de forma simultánea, pues sus tamaños y pesos indican que sus huellas debían ser similares. Mientras que el *Hypsilophodon* tiene un tamaño y peso muy inferior a éstos, de lo que se puede concluir que sea el de las huellas pequeñas. Así nos queda una última incógnita, qué dinosaurio que corresponde al de las icnitas grandes, para lo cual se ha de emplear el último dato, la alimentación. Puesto que *Baryonyx* es piscívoro y el *Utahraptor*, carnívoro, se concluye que el *Utahraptor* es el que actúa como depredador. Por lo tanto, como conclusión, el *Utahraptor* se considera el depredador, es decir, el que deja registradas las icnitas grandes y el que sale sólo en el tramo 5. Mientras que las otras icnitas corresponderían al *Hypsilophodon* ya que es de menor tamaño que las del *Baryonyx*. Queremos hacer notar que el hecho de que uno de los dinosaurios sea el *Utahraptor* puede conllevar ciertas controversias, pues su nombre lo situaría en el estado de Utah (EEUU), de modo que aquí se generaría discusión sobre si ese individuo no pertenece a Soria, o bien si ese nombre fue asignado a este dinosaurio porque se encontró por primera vez en ese Estado; o incluso discutir cómo se encontraban los continentes por aquella época.

Para finalizar con esta segunda actividad se pide a los estudiantes que nos indiquen si, a la vista de los dinosaurios propuestos, su argumento acerca de qué ocurrió en la secuencia de icnitas ha variado o si con esta nueva información han podido corroborar, en parte, alguna de sus hipótesis.

¿CUÁL ES LA VERDADERA HISTORIA DEL SINCLINAL DE O COUREL?

La fuente de inspiración para diseñar esta actividad fue “¿De qué trata la historia geológica?” (desarrollada por King en www.earthlearningidea.com), de la que se tomó la idea de que los estudiantes reconstruyan la historia geológica de una zona próxima a ellos. Con esto y con la reciente noticia de prensa (fig. 3) en la que se afirma que Galicia procede de la unión de dos continentes separados quedando como “cicatriz” este sinclinal, decidimos trabajar esta formación geológica con estudiantes gallegos, lo cual coincide con la opinión de Gutiérrez-Marco (2005) quien realiza una descripción del mirador geológico de Campodola haciendo hincapié tanto en su interés como punto turístico como educativo.

En el diseño de esta tarea tuvimos presente el extenso trabajo de Matte (1968) acerca de *La estructura de virgación hercínica de Galicia*, del cual se ob-

El estudio geológico de la zona de las icnitas (huellas fósiles de dinosaurios) pone de manifiesto que el origen de las icnitas sorianas se sitúa en la etapa conocida como Cretácico Inferior, es decir, entre unos 145 a 120 millones de años de la actualidad. Basándonos en diversas características de estas pisadas, se consideran varias posibilidades sobre los dinosaurios protagonistas de esta historia que son:



Giganotosaurus: bípedo y carnívoro. Vi-

vivió a mediados del periodo Cretácico, hace unos 96 millones de años. Medía entre 12,2 y 13 metros de longitud y pesaba entre 6,5 y 13,3 toneladas.



Baryonyx: bípedo y piscívoro, que vivió en el

Cretácico, hace entre 130-112 millones de años. Pudo medir 10 m de largo y pesar 2 toneladas.



Utahraptor: bípedo y carnívoro, que vivió hace

aproximadamente entre 145 y 100 millones de años. Medía 5-7 m de largo y pesaba 1 tonelada.



Hypsilophodon: bípedo y herbívoro, vivió en el Cretácico

aproximadamente entre 125-100 millones de años. Medía unos 2 m y pesaba 70 kg.

2) Indicar basándoos en pruebas, a qué dinosaurios pensáis que pertenecen los individuos que originaron las pisadas.

tuvieron los datos geológicos relativos a los estratos que conforman el plegamiento así como la potencia de los mismos. Sin embargo, en lo que corresponde a los registros fósiles hemos ampliado la información de Matte con los estudios de Sanz López, Expósito Vaqueiro y Montesinos López (2000).

Entre ambos continentes había un océano con una fase de sedimentación en esta cuenca oceánica.

Debido a la tectónica de placas el acercamiento de los continentes produjo el levantamiento de los sedimentos marinos y su plegamiento, generando lo que hoy conocemos como el Sinclinal de O Courel.

En la Sierra de O Courel, en particular en la parte que pertenece al Ayuntamiento de Quiroga, se pueden apreciar unas estructuras geológicas de gran magnitud que datan de varios millones de años.

Desde hace años esta estructura es visitada por numerosos visitantes y geólogos de varios puntos de Europa. Algunos de estos geólogos investigaron la geología de la Sierra de O Courel, pero cada uno dentro de su propia disciplina (Litología, Paleontología...).

Ante esa afluencia de visitantes el Ayuntamiento de Quiroga instaló un mirador en la Campodola, pero ahora quiere dar un paso más, dotar a este mirador con un panel informativo en el que se narre la historia geológica más relevante de esta Sierra. Para eso pide colaboración a los estudiantes de Geología de Galicia, pues considera que es una buena forma de dar a conocer esta formación geológica.

El problema es que disponemos de varias piezas de información que se pueden ver a continuación. Por lo tanto, debéis reunir esas piezas y reconstruir la historia geológica de la sierra, de una forma simple e indicando los materiales que la forman.

Información de la que disponéis:

- Noticia de prensa
- Tabla de las eras y rocas predominantes
- Fichas de los fósiles encontrados
- Tabla cronoestratigráfica

Como se indica en la actividad los estudiantes disponen de una noticia de prensa (Fig. 3) de la cual podrán extraer los siguientes datos relevantes:

El choque entre Gondwana y Laurasia comenzó hace más de 350 millones de años, lo cual corresponde a finales del Devónico, principios del Carbónico.

El siguiente conjunto de datos es la tabla de periodos y de rocas predominantes (Fig. 4), cuyo objetivo es que los estudiantes sean capaces de establecer la estratigrafía de la que se tiene constancia en la actualidad.

Aunque haya una escasa presencia de fósiles en el sinclinal de O Courel, en los estudios geológi-

Fig. 3. Noticia de prensa.

SOCIEDAD

O COUREL

El pliegue geológico que dio origen a Galicia será protegido

El sinclinal de O Courel es la huella visible de la unión de dos continentes

r. romar

Redacción / La Voz 4/9/2011

Hace más de 350 millones de años, Galicia como tal no existía. Estaba separada en dos partes. La occidental pertenecía al continente de Laurasia y la oriental al de Gondwana, pegada a la que hoy es África. Y, entre medias, un océano. La superficie de la comunidad, tal y como es hoy, empezó a fraguarse con el choque de placas de ambos continentes hace 350 millones de años. Desde entonces ha quedado unida y la prueba visible de esa gigantesca colisión de placas es el gran plegamiento acostado de O Courel, una estructura geológica visible que fue el primer terreno en emerger al levantarse los sedimentos marinos del antiguo océano y plegarse luego en forma de acordeón.

El pliegue geológico que ahora domina a las aldeas de Campodola y Leixazos, en el municipio de Quiroga, figura como punto de interés geológico de rango internacional desde 1983, pero hasta ahora carece de protección. Pero no será por mucho tiempo, después del acuerdo inicial alcanzado entre el Concello de Quiroga y la Consellería do Medio Rural para delimitar la zona de la estructura geológica que pasará a ser declarada como monumento natural. La propuesta de base, presentada por la Subdirección Xeral de Espazos Naturais e Biodiversidade a mediados de julio, acaba de ser consensuada por las partes, lo que llevará a la redacción de un estudio definitivo que culminará en la preservación de este patrimonio geológico.

La nueva delimitación se ciñe, según la Xunta, al ámbito de las áreas «naturais e xeomorfolóxicas imprescindibles para a conservación do

pregamento, sen comprometer os usos do territorio máis do necesario para garantir a súa conservación».

Este equilibrio entre la protección del pliegue y la salvaguarda de los intereses vecinales en el aprovechamiento de los recursos forestales es lo que también ha destacado el coordinador de los museos etnográficos y geológicos de Quiroga, Ramón Vila Anca, que subrayó que «tódalas partes estivemos de acordo, e o que se vai a acadar é que toda a parte visible do sinclinal -el pliegue quede protexida».

«El pliegue -destaca el catedrático de Geología Juan Ramón Vidal Romani- es lo que queda de la primera Galicia que se formó hace 350 millones de años».

© Copyright LA VOZ DE GALICIA S.A. Disponible el 20 de octubre del 2011, en http://www.lavozdegalicia.es/sociedad/2011/09/04/0003_201109G4P35991.htm?utm_source=buscavoz&utm_medium=buscavoz



Sinclinal de O Courel. [fotografía]. En Picasa Web (Google). Extraído desde <http://picasaweb.google.com/lh/photo/dqIrH8pAcxPZKNyIujkO1g?full-exif=true>

PERIODO	ROCA PREDOMINANTE	POTENCIA (m)
Devónico	Calizas	Indeterminada
Silúrico	Pizarras	3000
Ordovícico	Esquistos Intercalaciones de caliza	12000
Cámbrico		

Fig. 4. Tabla con la roca predominante en cada periodo.

cos de la zona, antes mencionados, se encontraron fósiles cuyas fichas aparecen en la fig. 5. Con ellas, los estudiantes deben interpretar la información de estos fósiles como método de datación relativa para aportar pruebas acerca de cómo se originó este sinclinal. Cabe indicar que las fotografías que aparecen en las fichas no corresponden con imágenes de los fósiles en dicho sinclinal.

Por último, se les proporciona una tabla cro-noestratigráfica para ayudarles a dar sentido a los datos más que para que aprendan los periodos geológicos de memoria; ya que lo que más nos interesa es que reconstruyan la historia geológica del sincli-

nal haciendo uso de los datos proporcionados.

Con estos datos, lo que se espera es que los estudiantes sean capaces de reconstruir la historia geológica del Sinclinal de O Courel de una forma similar a la que sigue:

A comienzos y mediados del Paleozoico hubo una fase de sedimentación en la cuenca oceánica que estaba situada entre los dos grandes continentes: Gondwana y Laurasia. Tras esta fase de sedimentación, se formaron los estratos que datan de diferentes periodos del Paleozoico:

Cámbrico: predominan los esquistos con intercalaciones de calizas en las que encontramos fósiles de Archaeocyatha.

Ordovícico: la litología es la misma que en el Cámbrico, pero los fósiles presentes en las calizas corresponden a Didymograptus. Estos dos materiales presentan un espesor de 12000 metros.

Silúrico: las rocas que predominan son pizarras, en las que se encuentran fósiles de Monograptus.

Devónico: predominan las calizas, donde se encontraron fósiles de braquiópodos.

<p>DIDYMOGRAPTUS Vivieron durante el ordovícico inferior y medio. Sus fósiles se preservan en pizarras y arcillas. Son un grupo de animales coloniales marinos.</p>	
<p>BRAQUIÓPODOS Son un grupo de bivalvos no extinto que apareció en el Cámbrico tuvo su apogeo máximo durante el Devónico. Los braquiópodos fósiles se preservan en calizas. Son invertebrados marinos, recuerdan a los berberechos.</p>	
<p>ARCHAEOCYATHA Exclusivos del Cámbrico inferior Se preservan en rocas calcáreas Son un grupo de animales marinos, semejantes a las esponjas</p>	
<p>MONOGRAPTUS Son un género de los graptolites que vivieron durante el Silúrico. Sus fósiles se encuentran en pizarras Son un grupo de animales coloniales marinos</p>	

Fig. 5. Fichas, elaboradas para la tarea, con información de los fósiles encontrados en O Courel. Imágenes e información tomadas de la Encyclopaedia Britannica Online (www.britannica.com).

A comienzos del Carbonífero (orogenia Hercínic), la aproximación de las placas litosféricas originó el choque de los continentes Gondwana y Laurasia provocando el levantamiento y plegamiento de los sedimentos que hoy constituyen el sinclinal de O Courel. Esto explica la aparición de fósiles marinos en las montañas de esta sierra.

Para finalizar con la actividad, se les da una última pregunta que nos dará a conocer si están entendiendo el mecanismo por el que se generó el sinclinal. Esta pregunta no se entrega a los estudiantes hasta que no finalicen de escribir la historia, y dice: “¿Por qué no hay más datos registrados a partir del Devónico?”. Podríamos pensar en tres tipos de respuestas esperadas del alumnado: 1) porque no se estudió esa parte, 2) porque no hubo deposición o bien 3) porque hubo predominio de procesos erosivos que eliminaron esa capa. Esta última es la más adecuada.

CONSIDERACIONES FINALES

Las tres actividades están orientadas para la educación secundaria, en particular, las dos primeras se diseñaron para 4º de la ESO y la última para 1º de Bachillerato, debido a su mayor complejidad. No obstante, con pequeñas modificaciones son susceptibles de ser adaptadas a otros cursos y niveles.

A través de actividades como las presentadas en este taller se pretende contribuir al desarrollo de la capacidad de argumentar y de usar de pruebas por parte del alumnado, lo cual es importante para ellos mismos, por desarrollar destrezas necesarias para la práctica científica; y también para el docente, puesto que mediante la argumentación los estudiantes hacen explícito su proceso de razonamiento y los modelos que emplean (Jiménez Aleixandre, 2010), lo cual permite al profesor identificar las dificultades (procedimentales, conceptuales, etc.) de los estudiantes y diseñar estrategias con las que intentar resolverlas.

Aunque en estas actividades se ha resaltado la importancia del uso de pruebas, para así obtener y comunicar conclusiones, consideramos que realizan notables aportaciones a otros aspectos de la competencia científica, señalados en el currículum por el MEC (2007). Esto es así porque la interpretación de los datos se realiza siempre dentro de un modelo, propio del individuo, que lo emplea al generar explicaciones, es decir, verbalizar sus ideas. El uso de modelos (p.ej. el de formación de estratos o el de formación de icnitas), requiere conocer y aplicar los conceptos y principios básicos de las ciencias, contribuyendo al desarrollo de la capacidad de “explicación de fenómenos de forma científica”. Asimismo, por el hecho de que las soluciones a estas tres tareas no son inmediatas, se requiere por parte del alumnado no sólo que plantee y contraste hipótesis ante las posibles soluciones, sino también que diseñe estrategias de resolución, favoreciendo así el desempeño de la capacidad de ‘identificar cuestiones científicas’.

En definitiva, proponiendo actividades de este tipo en el aula se fomenta el desarrollo de las tres dimensiones de la competencia científica por parte de los estudiantes.

ERA	PERIODO	ÉPOCA	MILLONES DE AÑOS (M.A.)
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	0,0117-actualidad
		Pleistoceno	2,5-0,126
	Terciario	Plioceno	5-3.6
		Mioceno	23-7
		Oligoceno	33-28
		Eoceno	56-38
	Paleoceno	66-59	
MESOZOICO	Cretácico		145-72
	Jurásico		201-152
	Triásico		252-208
PALEOZOICO	Pérmico		298-254
	Carbonífero		358-303
	Devónico		419-372
	Silúrico		443-423
	Ordovícico		485-445
	Cámbrico		541-489
PRECÁMBRICO			

Fig. 6. Tabla cronoestratigráfica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto EDU-2012-38022-Co2-01, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

BIBLIOGRAFÍA

Apedoe, X. S. (2007). Engaging Students In Inquiry: Tales From An Undergraduate Geology Laboratory-Based Course. *Science Education*, 92(4), 631-663.

Ault, C. R. (1998). Criteria of excellence for geological inquiry: The necessity of ambiguity. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 189-212.

Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante (2012). A modelling experience to improve stratigraphy understanding. Trabajo presentado al *Congreso European Conference on Educational Research (ECER)*, Cádiz 17- 21 de septiembre del 2012.

Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante (2013). Competencia en el uso de pruebas en la modelización de la cuenca sedimentaria de As Pontes. Trabajo presentado al *9 Congreso internacional sobre la investigación en didáctica de las ciencias*, Girona 9-12 de septiembre del 2013.

Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante (2014). Argumentación y uso de pruebas: Realización de inferencias sobre una secuencia de icnitas. *Enseñanza de las ciencias*, 32 (2), 35-52.

Cañas, A., Martín-Díaz, M.J. y Niedo, J. (2007). *La competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. La competencia científica*. Madrid: Alianza.

Erduran, S., Simon, S., y Osborne, J. (2004). TAPPING into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.

García Cruz, M.G (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la Geología. *Enseñanza de las ciencias*, 1998, 16 (2), 323-330.

Goldstein, M., Crowell, A. y Kuhn, D. (2009). What constitutes skilled argumentation and how does it develop?. *Informal logic*, 29 (4), 379-395.

Gutiérrez-Marco, J. C. (2005). El primer mirador geológico de Galicia (gran pliegue acostado de O Courel, Lugo). *De Re Metallica*, 5, 13-20.

- Hurd, D., Johnson, S. M., Matthias, G. F., McLaughlin, C. W., Snyder, E. B. e Wright, J. D. (1989). *General Science: A voyage of Discover*. New Jersey:Prentice Hall.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En: F. J. Perales Palacios e P. Cañal de León *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy:Marfil.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). Designing Argumentation Learning Environments. En: Erduran, S. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (eds.) *Argumentation in science education*. Dordrecht: Springer.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona:Graó.
- Jiménez Aleixandre, M.P. (2011). Argumentación y uso de pruebas: construcción, evaluación y comunicación de explicaciones en Biología y Geología. En: Cañal, P (coord.) *Didáctica de la Biología y Geología*. Madrid: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A. y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "Doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo, B. y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a evaluar pruebas?. *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las ciencias*, 21(3), 359-378.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Pereiro Muñoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, 24, 1171-1190.
- Jiménez Aleixandre, M.P. y Puig, B. (2011). The role of justifications in integrating evidence in arguments: making sense of gene expression. Trabajo presentado en la *congreso ESERA*, 5-9 de septiembre de 2011, Lyon, Francia.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Harvard: Harvard University Press.
- Lederman, N. G. y Abd-El-Khalick, F. (1998). Avoiding De-Natured Science: Activities that promote understandings of the Nature of Science. En: W. F. McComas (ed.) *The nature of science in science education*. Dordrecht:Kluwer.
- Lockley, M. G. (1993). *Siguiendo las huellas de los dinosaurios*. Madrid:McGraw-Hill.
- Matte, P. (1968). La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne). *Géologie Alpine*, 44, 157-280.
- MEC (2007). Real Decreto 1631/2006, del 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. *BOE del 5 de enero de 2007*. Madrid.
- OCDE (2006). *PISA 2006. Marco de la evaluación: Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y lectura*. Santillana:Madrid. Ministerio de Educación y Ciencia. Extraído el 1 de Julio de 2011 de www.oecd.org.
- Pedrinaci, E. (2001). *Los procesos geológicos internos*. Síntesis: Madrid.
- Sanz López, J., Expósito Vaqueiro, C. M., & Montesinos López, J. R. (2000). Estratigrafía y conodontos del Devónico Inferior del sinclinal del Caurel-Peñalba (NO de España). En: Díez, J.B. y Balbino, A.C. (eds), *I Congreso Ibérico de Paleontología, XVI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología y VII International Meeting of IGCP 421*, Évora 2000.
- 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.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Trend, R. (1998). An investigation into understanding of geological time among 10 and 11-year-old children. *International Journal of Science Education*, 20, 973-988. ■

Este artículo fue recibido el día 15 de enero y aceptado definitivamente para su publicación el 30 de marzo de 2014.