

¿Qué hipótesis formulan y en qué las basan los estudiantes de Grado de Educación Primaria al analizar la formación de un diapiro?

What hypotheses do elementary pre-service teachers make and what do they base them on when analyzing the formation of a diapir?

NAHIA SEIJAS¹ Y ARAITZ USKOLA²

¹ Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales. Universidad del País Vasco /Euskal Herriko Unibertsitatea – UPV/EHU, nahia.seijas@gmail.com

² Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales. Universidad del País Vasco /Euskal Herriko Unibertsitatea – UPV/EHU, araitz.uskola@ehu.eus

Resumen Existe un amplio consenso en el campo de la didáctica de la ciencia respecto a la necesidad de integrar en el aula las grandes ideas científicas con las prácticas propias de esta. Una de tales prácticas es el uso de pruebas para evaluar el conocimiento y obtener conclusiones. El aprendizaje de la geología, además, está condicionado por la naturaleza histórica e interpretativa de esta ciencia, que hace necesario contextualizar en el espacio y el tiempo los fenómenos estudiados. Por eso, muchas veces el trabajo de campo y cartográfico es esencial para la construcción de modelos geológicos. En base a esto se ha diseñado y llevado a cabo una secuencia didáctica sobre un diapiro, incluyendo una salida de campo, con futuros maestros de Educación Primaria. Se ha analizado qué hipótesis formularon los estudiantes y cómo incorporaron a éstas los datos que se les facilitaron. Para ello, se analizaron las discusiones grupales de estos estudiantes, realizadas durante una sesión posterior a la salida. Los resultados muestran: (1) una tendencia hacia el catastrofismo y hacia los procesos destructivos del paisaje, (2) problemas para decidir si un dato es o no relevante, (3) una variación notable de los datos usados y las hipótesis planteadas en las actividades anteriores y posteriores al trabajo cartográfico, y (4) la importancia de “visualizar” la estructura tridimensional de los estratos y de relacionarla con otras imágenes conocidas para que los estudiantes planteen hipótesis más cercanas al modelo científico.

Palabras clave: Diapiro, didáctica de la geología, ideas alternativas, uso de datos, trabajo de campo.

Abstract *There is a broad consensus in science education regarding the need to integrate the big scientific ideas with scientific practices in the classroom. Using evidence and evaluating knowledge have been recognized as the key scientific practices. Besides, learning process in geology is conditioned by the historical and interpretative nature of this science, and by the need to contextualize the phenomena modelled in space and time. Therefore, field and cartographic work is often essential for the construction of geological models. Taken this into account, a teaching sequence about a diapir has been designed and carried out with elementary pre-service teachers. Students' group discussions after the field trip were analysed. The results show: (1) a trend towards catastrophism and destructive landscape processes, (2) problems in deciding whether or not a data is relevant, (3) significant variation in the data used and the hypotheses made by students in activities prior to cartographic work comparing to those made in the subsequent activities, and (4) the importance of “visualizing” the three-dimensional structure of strata and relating it to other known images so that students propose hypotheses closer to the scientific model.*

Keywords: *Diapir, geology education, geology misconceptions, use of data.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años diversos estudios sobre la enseñanza-aprendizaje de la ciencia vienen señalando la importancia de integrar las grandes ideas científicas con las prácticas propias de esta (Jiménez Aleixandre y Crujeiras, 2017; NRC, 2012). Se trata de encontrar el balance entre los objetivos didácticos conceptuales (las grandes ideas de la ciencia), epistémicos (cómo se construye el conocimiento científico) y sociales (las interacciones ciencia-sociedad) (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras, 2017); es decir, que la escuela permita al estudiantado ser competente científicamente (OECD, 2019).

Según Osborne (2011), estas prácticas científicas se dividen en tres grupos: el diseño de investigaciones, la recogida de datos y su análisis (indagación); el desarrollo de explicaciones mediante teorías y modelos (modelización); y la evaluación del conocimiento en base a pruebas científicas (argumentación).

Por su parte, la disciplina geológica tiene sus propias características, ya que, su carácter histórico e interpretativo (Frodeman, 1995) hace necesaria una contextualización espacio-temporal continua de los fenómenos estudiados. Por eso el trabajo de campo y el uso de mapas constituyen *actividades auténticas* (Brown et al., 1989; Jiménez-Aleixandre, 2003) para el aprendizaje de esta ciencia.

En este trabajo se presenta y analiza una secuencia didáctica basada en la construcción del Modelo de Cambio Geológico (MCG) (Bach y Márquez, 2017); concretamente en la reconstrucción de la historia geológica de un diapiro, incluyendo trabajo de campo y cartográfico. El objetivo del análisis es conocer las hipótesis que plantean y los datos que utilizan los estudiantes mientras construyen este modelo.

MARCO TEÓRICO

En este apartado van a ser descritas las ideas alternativas más comunes respecto al cambio geológico; así como la manera de hacerles frente en el aula, mediante la incorporación de las *actividades auténticas*, como la construcción de modelos y la argumentación y el uso de pruebas; y en el caso específico de la geología, el trabajo de campo y cartográfico.

Ideas alternativas sobre el cambio geológico

Las ideas alternativas que suelen mostrar los estudiantes en relación con los cambios geológicos coinciden con algunos obstáculos epistemológicos que históricamente han impedido el avance de la ciencia geológica (Pedrinaci, 1987), y han sido identificados por varios estudios:

- El fijismo, la idea de un planeta inmutable y no-dinámico (García, 2007; Pedrinaci, 1993).
- La cronología corta, es decir, no comprender el tiempo geológico profundo (García, 2007; Pedrinaci, 1993).
- La idea de que los materiales terrestres son tan antiguos como el propio mundo, idea que sostenía el creacionismo y que impide el



Fig. 1. Fotografía de la zona visitada en las que se aprecian los estratos de calizas y margas sub-verticales del Cretácico Superior, que están cerca del contacto con las rocas evaporíticas del Triásico.

cuestionamiento sobre el origen de las rocas y del relieve (Pedrinaci, 1993).

- Propensión al catastrofismo para explicar los cambios de relieve (Pedrinaci, 1992).
- Visión unidireccional de los procesos geológicos: se recurre casi exclusivamente a los procesos destructivos como la erosión para explicar los cambios geológicos (Pedrinaci, 1992).
- Dificultad para asimilar el concepto de diagénesis (Pedrinaci, 1992).
- Tendencia a explicar fenómenos como el origen de las montañas mediante procesos de adición en vez de interacción; como sostenían las tesis neptunistas (García-Díaz, 2001; Pedrinaci, 2003).
- El uso de la metodología de la superficialidad en vez de una metodología científica. La “metodología de la superficialidad” consiste en extraer conclusiones partiendo únicamente de observaciones cualitativas no controladas, poco rigurosas; esto es, evidencias extraídas del sentido común (Gil-Pérez y Carrascosa-Alis, 1985; Pedrinaci, 2003).
- La actitud dogmática (García, 2007; Pedrinaci, 1993).

Un proceso de enculturación

Es habitual que los estudiantes adquieran rutinas escolares, definiciones o teorías descontextualizadas, que no saben realmente usar, y que, por tanto, en la práctica, son inertes. Esto ocurre por-

que el conocimiento conceptual no lo forman leyes y teorías abstractas con entidad propia; sino leyes y teorías creadas y empleadas en un *contexto* determinado; que están enmarcadas en una manera particular de mirar el mundo; esto es, en la *cultura* de la comunidad científica (Brown et al., 1989). Por eso, el aprendizaje es, en cierto modo, un proceso de *enculturación*; y las actividades que lo permiten están lejos de las *actividades arquetípicas* de la *cultura escolar* y cerca de las *actividades auténticas* propias de la ciencia (Brown et al., 1989; Jiménez-Aleixandre, 2003).

Las nuevas perspectivas en enseñanza de las ciencias siguen por este camino y remarcan la importancia de integrar el contenido científico con las prácticas científicas en el diseño de las secuencias educativas (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras, 2017; NRC, 2012). La construcción de teorías y modelos y la argumentación y el uso de datos son dos de las prácticas científicas fundamentales (NRC, 2012; Osborne, 2011).

Los modelos científicos en geología

Los modelos científicos son representaciones simplificadas o idealizadas del mundo natural, creadas con el objetivo específico de desarrollar explicaciones sobre determinados fenómenos naturales (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000; Schwarz et al., 2009). Estos modelos son el resultado de un alto nivel de abstracción y están limitados por lo que pueden explicar o predecir; es decir, están limitados por los objetivos para los que fueron inicialmente contruidos (Gieryn, 2004; Guy-Gaytán et al., 2019).

La adaptación de esta práctica científica a las condiciones y necesidades educativas del estudiantado requiere de una transposición didáctica de los modelos científicos; lo que se ha hecho mediante los Modelos Científicos Escolares (MCE) (Adúriz-Bravo, 2013; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003). Para la enseñanza-aprendizaje de la geología se ha propuesto el Modelo de Cambio Geológico (MCG) (Bach y Márquez, 2017).

La secuencia didáctica que se ha realizado para esta investigación tiene como objetivo la creación de un modelo que explique los cambios en los materiales y el paisaje de la zona, que en este caso se han producido por la intrusión de material evaporítico (un diapiro). Este modelo se clasificaría dentro del sub-modelo de dinámica interna (siendo la gravedad el motor de las interacciones), enmarcado en el MCG (Bach y Márquez, 2017).

Argumentación y uso de pruebas

Argumentar implica basar las conclusiones en justificaciones y datos (Jiménez-Aleixandre et al., 2000); y constituye la práctica científica de evaluar el conocimiento que se construye en base a tales pruebas. Esto significa que una buena parte del trabajo científico supone tomar decisiones en base a pruebas (Jiménez-Aleixandre et al., 2000). La capacidad de argumentar se muestra, por tanto, en la articulación entre afirmaciones y pruebas, y, de manera sobresaliente, en la construcción de refutaciones a las justificaciones o datos del argumento contrario (Erduran, Simon y Osborne 2004; Osborne et al., 2016).

Los procesos argumentativos se insertan dentro del proceso de construcción de modelos, y adquieren un papel fundamental en la evaluación de estos (Böttcher y Meisert, 2011), aunque también se han identificado situaciones argumentativas en el resto de fases del proceso de modelización (Mendonça y Justí, 2013).

Adicionalmente, el salto del dato a la prueba, esto es, la selección de los datos que se usarán como prueba en una justificación, depende en gran medida del marco teórico de la persona que lo interpreta (Koslowski et al., 2008). Por tanto, los modelos mentales de los estudiantes repercutirán en las justificaciones que elaboren (Blanco-Anaya et al., 2019).

Esta interdependencia entre los procesos de modelización y argumentación ha llevado a varios autores a proponer el análisis simultáneo de ambos procesos (Blanco Anaya y Díaz de Bustamante, 2014; Böttcher y Meisert, 2011); por ejemplo, contextualizando las operaciones argumentativas dentro del proceso de construcción de modelos.

Actividades auténticas en geología

El trabajo de campo y el trabajo cartográfico forman parte de la práctica y la cultura de la disciplina geológica (Mogk y Goodwin, 2012; Petcovic et al., 2014), por lo que introducir a los estudiantes en estas actividades *auténticas* es relevante para la *enculturación* (Jiménez-Aleixandre, 2003).

La geología, lejos de ser una “física y química” aplicadas al estudio de la Tierra, es una ciencia de naturaleza histórica e interpretativa (Frodeman, 1995), que se aproxima a los fenómenos del pasado a través de los registros rocosos del presente. El objeto de las ciencias históricas no es identificar unas leyes generales que expliquen los fenómenos, sino conocer la crónica de eventos particulares sucedidos en una determinada localización (Frodeman, 1995). Las hipótesis, por tanto, no se pueden comprobar empíricamente de la misma manera que las ciencias experimentales, pues su carácter histórico los hace irrepetibles (Pedrinaci, 2003).

La naturaleza histórica e interpretativa de la geología hace indispensable que los fenómenos estudiados estén contextualizados en el espacio y en el tiempo; y aunque para construir modelos geológicos se tienda a la generalización, estos no se pueden desprender de las referencias espacio-temporales que los originaron.

Por todo ello, el campo resulta ser un sitio clave donde se recogen gran parte de los datos (la composición de la roca, su disposición espacial...), que están fragmentados espacialmente y temporalmente (Balliet, Riggs y Maltese, 2015), y para estructurarlos los geólogos se valen de representaciones visuales como mapas cartográficos, cortes y columnas estratigráficas (Mogk y Goodwin, 2012). Estas representaciones visuales adquieren un papel fundamental para organizar espacial y temporalmente la información recogida y para la reflexión por analogía en la construcción de los modelos geológicos (Balliet, Riggs y Maltese, 2015; Compiani y Gonçalves, 1996; Kastens e Ishikawa, 2006).

OBJETIVOS

En este trabajo se ha diseñado, desarrollado y analizado una secuencia didáctica, basada en la reconstrucción de la historia geológica de un diapiro, incluyendo una salida de campo y trabajo cartográfico. Los objetivos del análisis que se presenta son:

1. Conocer las hipótesis planteadas por los grupos de estudiantes a lo largo de la secuencia
2. Conocer en qué basan las hipótesis los estudiantes y cómo incorporan los datos

MÉTODO

Se describen en este apartado la secuencia diseñada y los aspectos metodológicos del análisis. La investigación se basó fundamentalmente en el análisis interpretativo (Erickson, 1989) de datos de naturaleza cualitativa (conversaciones entre estudiantes).

Contextualización de la secuencia y grupo participante

La secuencia está enmarcada en una unidad didáctica más amplia (resumen en la Tabla I), que tiene como objetivo la reconstrucción de la historia geológica y geomorfológica de un valle local, (en Orduña, Bizkaia), incluyendo la salida de campo al entorno. Se llevó a cabo durante el primer cuatrimestre del curso 2019-2020 con 40 estudiantes de la materia “Nuevas tendencias en la Didáctica de las ciencias” de 4º curso del Grado de Educación Primaria, que trabajaron en 8 grupos (A-H) de 5 personas. La unidad didáctica tenía como objetivo que este profesorado de Educación Primaria en formación experimentara como estudiante una secuencia de actividades diseñada con metodologías que requerían prácticas científicas escolares.

El entorno a estudiar es un diapiro en términos geológico-estructurales: el valle está rodeado por una sierra compuesta por calizas y margas del Cretácico Superior, mientras que en las cotas más bajas afloran yesos y arcillas evaporíticas de la facies *Keuper*, depositadas en el Triásico. El diapiro se formó debido a movimientos halocinéticos de los materiales evaporíticos menos densos y más dúctiles, que, aprovechando las fracturas producidas tras la orogenia alpina ascendieron a



Fig. 2. Dos grupos de estudiantes comparten los datos de litológicos y estructurales de las zonas del mapa que han cartografiado previamente.

través de los materiales superiores, emergiendo a la superficie.

Los nombres de los estudiantes han sido sustituidos por pseudónimos que empiezan con la letra que corresponde al grupo. En este trabajo se describe y analiza cualitativamente la secuencia que tuvo lugar durante la 5ª sesión, centrada en la formación del diapiro.

Descripción de la secuencia

Aunque la mayor parte de la secuencia didáctica referente a la formación del diapiro se realizó durante la 5ª sesión, anteriormente se realizaron algunas actividades importantes como un estudio preliminar del mapa topográfico de la zona y la salida de campo (Tabla I, sesiones 1 y 3); en dicha salida los estudiantes recogieron datos de estructuras y litologías en varias paradas, que se iban localizando en el mapa que los grupos llevaban consigo.

La 5ª sesión tuvo una duración total de 2h y las actividades llevadas a cabo se resumen en la Tabla II.

Posteriormente, como actividad sintetizadora se les pidió un video por grupo en el que se explicara de forma visual la formación del diapiro estudiado.

Recogida y análisis de datos

Los datos analizados para este estudio son las grabaciones de audio de los grupos de discusión durante la 5ª sesión, descrita en el apartado

SESIÓN (DURACIÓN)	CONTENIDOS
1 (2h)	Análisis preliminar del mapa topográfico. Preguntas. Hipótesis. Planificación de 1ª maqueta.
2 (3h 30')	Construcción de 1ª maqueta.
3 (3h 30')	Salida.
4 (2h 30')	Revisión de la salida (organización y representación de datos).
5 (2h 30')	Secuencia sobre diapirismo.
6 (3h 30')	Revisión de 1ª maqueta. Construcción de 2ª maqueta.
7 (2h)	Presentación de maquetas.

Tabla I. Sesiones de la unidad didáctica

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN APROXIMADA
A1	Se proyectaron fotografías de estratos calizos sub-verticales (Fig. 1) que se encuentran en contacto con las evaporitas (fenómeno común en los diapiros), cerca de la zona visitada. Se les preguntó: ¿Por qué están los estratos en vertical?	15'
A2	Se aportaron datos estratigráficos y estructurales de otras zonas del valle que no se visitaron en la salida. A cada grupo se le asignó una zona del mapa para que hiciese su cartografía.	20'
A3	Cada grupo compartió los datos de su zona con el resto de grupos (Fig. 2). Al final, todos tenían su mapa lleno de datos de la litología y orientación de los materiales. Con esta información, se les pidió que completasen la cartografía (Fig. 3, izquierda).	45'
A4	Se les propuso dibujar la historia geológica en tres “viñetas” o etapas (Fig. 3, derecha): La primera etapa (todos los estratos horizontales, uno sobre otro), la última etapa (lo que se ve en la actualidad si se realiza un corte geológico partiendo de la cartografía realizada), y la etapa intermedia (etapa sobre la que debían pensar y discutir).	20'
A5	Se les ofrecieron datos nuevos (las evaporitas que están debajo de las calizas, son de menor densidad). Con esta información se guio una discusión con toda la clase.	20'

Tabla II. Actividades desarrolladas durante la 5ª sesión de la unidad didáctica.

Fig. 3. Ejemplo de una cartografía del valle de Orduña realizada por el grupo E (izquierda); y de una representación de las diferentes etapas de evolución del diapiro (derecha), realizada por el grupo G (la 2ª etapa representa la situación actual y la 3ª etapa la situación intermedia).

anterior. Se ha considerado que las producciones de los estudiantes (mapas y dibujos) no mostraban una evolución en las hipótesis ni los datos en que se estaban basando, por lo que no se han analizado para este estudio. La recogida de datos se realizó tras obtener el consentimiento informado del estudiantado y con la evaluación favorable de este proyecto de investigación por parte del Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos de la UPV/EHU¹.

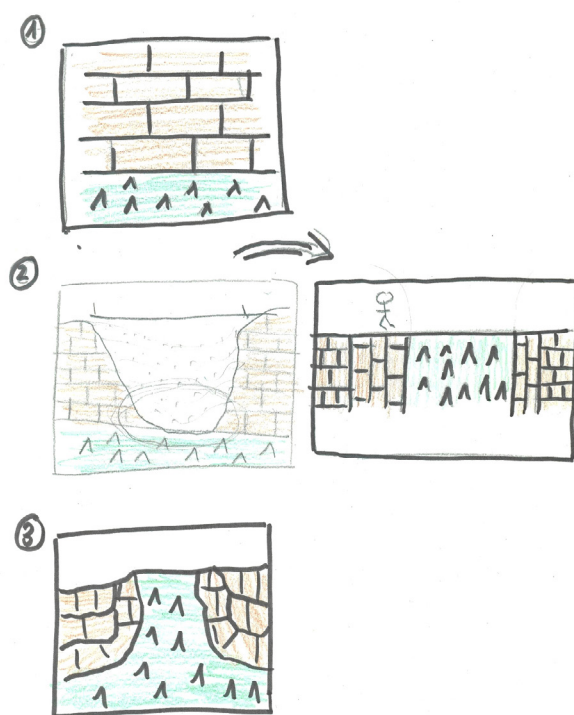
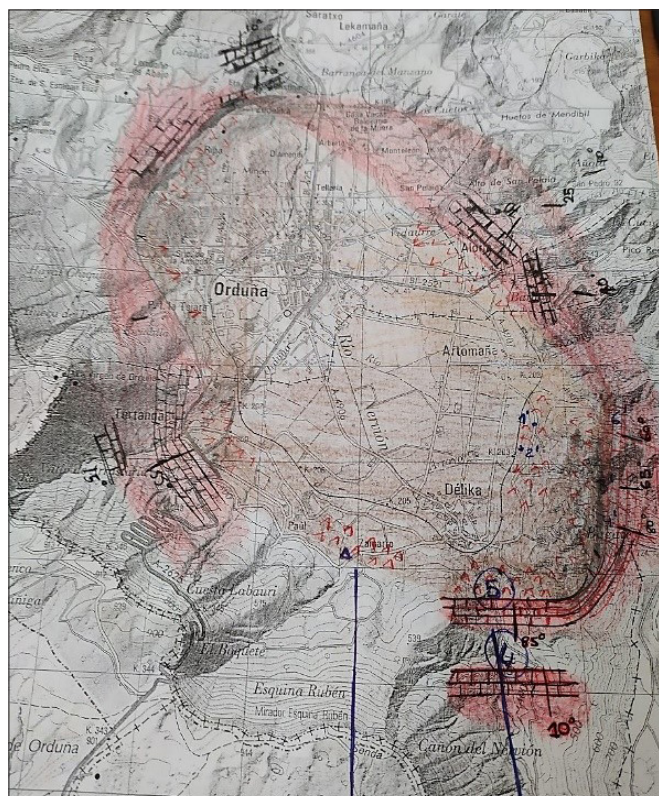
La sesión estudiada se realizó dos veces, en dos seminarios distintos (una con los grupos C, D, E, H;

y otra con A, B, F y G). En este trabajo se presenta el análisis correspondiente a los grupos A, B, F y G, ya que se grabaron las discusiones desde un inicio (las de los grupos C, D, E, H sólo a partir de la A2).

Para analizar las discusiones grupales se han transcrito los audios de los 4 grupos participantes del segundo seminario, dividiendo cada uno en una serie de episodios siguiendo criterios como el inicio de una actividad o una puesta en común, o la introducción de elementos que dan un giro a la discusión. En cada episodio se han identificado las intervenciones en las que los estudiantes formulan hipótesis.

La decisión de no interpretar las teorías de los estudiantes como “modelos” sino como “hipótesis” se ha tomado debido a que son teorías en construcción, que se van modificando en la discusión grupal con facilidad. Además, carecen

¹ Proyecto de investigación (M10_2019_146). CEISH-UPV/EHU, BOPV 32, 17/2/2014, el 18 de julio de 2019 (acta 115/2019).



CAT.	TIPOS DE DATOS	EJEMPLOS
1	Datos concretos aportados en la secuencia	"¡Pero piensa que es plano! La parte de arriba es plana" [1c] Ane, t113
2	Patrones obtenidos de los datos aportados	"En plan, estos [estratos] van para allá, estos van para allá, estos van para allá, estos van para allá..." [2e] Fidel, t62
3	Datos/información basada en conocimiento teórico	"Cuando se crean están todas así [horizontales]" [3a] Blanca, t22
3*	Información teórica coherente con ideas alternativas	"Los montes de normal son así [triangulares]" [3g*] Ane, t115

Tabla III. Clasificación de los razonamientos utilizados por los estudiantes.

de estructura consistente; por ejemplo, la mayoría no explica ningún motor o mecanismo que haga funcionar el sistema, que es una parte fundamental de los modelos científicos (Bach y Márquez, 2017).

Además, se ha identificado y categorizado en qué datos basan o cómo fundamentan los estudiantes sus hipótesis. Para categorizar estas fundamentaciones, que incluirían tanto datos como justificaciones de tipo teórico, se han establecido 3 grupos: datos concretos (Cat. 1), patrones y comparaciones entre datos (Cat. 2), e información de tipo teórico o abstracto (Cat. 3), en línea con la propuesta de Kelly y Takao (2002) para analizar argumentos escritos según el nivel epistémico de las proposiciones de los estudiantes. Se ha incluido una cuarta categoría (Cat. 3*) para aquella información teórica relacionada con ideas alternativas de los estudiantes. En la Tabla III se muestran ejemplos de todas las categorías. La lista completa de las categorías de datos se añade al final del artículo (Anexo I).

Se ha creado una herramienta para representar el análisis de las hipótesis y los datos. La propuesta se basa en la de Böttcher y Meisert (2011) para analizar las operaciones argumentativas en relación a las fases de construcción del modelo. En la herramienta presentada (Tabla IV) aparece, por un lado, la transcripción (junto con el nombre de los sujetos y el número de intervención t1, t2, t3, etc); y por otro, el resumen de los datos e hipótesis. Las figuras geométricas representan las distintas hipótesis; y cuando los estudiantes se han basado en pruebas o información teórica, estos se introducen dentro de las figuras. Cuando las pruebas se emplean para refutar una hipótesis, se representan fuera de estas figuras, pero ligados a ellas mediante una flecha. En el caso de los datos que se mencionan pero que no se usan para fundamentar ni para refutar una

hipótesis, se representan fuera de estas figuras. Por último, si el dato es aportado por la profesora, se indica en letra cursiva y en color rojo.

RESULTADOS

Los resultados se muestran en la Figura 4, en la que se representan las hipótesis y los datos utilizados por cada grupo a lo largo de las 5 actividades de la 5ª sesión. Como ejemplo, el lector tiene a su disposición el análisis completo de la transcripción del grupo A, en el siguiente repositorio: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13726120>.

En este apartado analizaremos en primer lugar la variación en las hipótesis planteadas y después la manera en la que estas se han fundamentado.

Hipótesis planteadas

Las hipótesis halladas se muestran en la Tabla V, y el número de hipótesis planteadas por cada grupo en la Tabla VI.

Como se observa en la Figura 4 y en la Tabla VI, la evolución de los grupos ha sido muy dispar, siendo los grupos A y G los más prolíficos.

El grupo A es, junto con el G, el que más momentos ha empleado para la discusión de hipótesis (13 momentos), y en el que las hipótesis están más homogéneamente distribuidas (proponen hipótesis en todas las actividades). Aun así, sólo han planteado 4 hipótesis diferentes, dos de ellas recurrentes a lo largo de toda la sesión (*erosión y/o meteorización* y *compresión en el marco de la tectónica de placas*, que se repite hasta 5 veces).

El grupo B tiene unas discusiones interesantes en la A1 (se comentan 2 hipótesis diferentes en 4 momentos), pero, a partir de esta actividad y casi hasta la A5, no se plantean más que 2 hipótesis

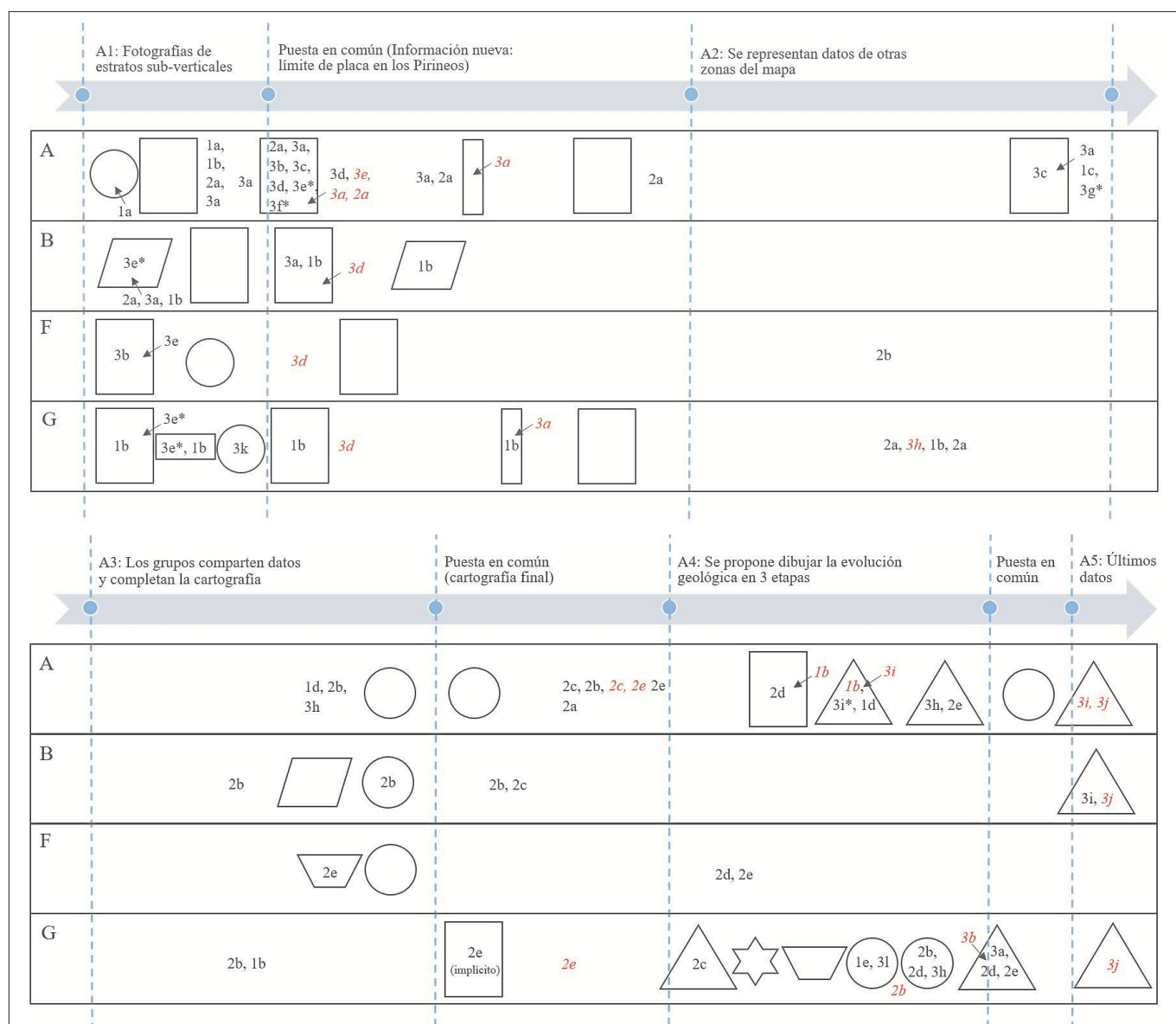
		TRANSCRIPCIÓN	DATOS E HIPÓTESIS
t1	Sujeto 1		
t2	Sujeto 2		
t3	Sujeto 1		
t4	Sujeto 2		
t5	Sujeto 1		
t6	Sujeto 2		
t7	Sujeto 1		
t8	Sujeto 2		

Tabla IV. Visualización de la herramienta empleada para el análisis.

Tabla V.
Representaciones
gráficas de las hipótesis
identificadas en las
discusiones grupales.

REPRESENTACIÓN	HIPÓTESIS	Nº MENCIONES
	Erosión y/o meteorización	10
	Sedimentación en vertical (<i>los estratos se sedimentaron con la inclinación que muestran hoy día</i>)	2
	Terremoto	3
	Compresión en el marco tectónica de placas (<i>choque, acercamiento...</i>)	13
	Extensión en el marco tectónica de placas (<i>divergencia o separación...</i>)	1
	Cráter, meteorito	2
	Acción humana (<i>bombas, explosiones...</i>)	1
	Material ascendente (<i>volcán, diapiro...</i>)	7

Fig. 4. Representación
de las hipótesis (formas
geométricas) y los datos
planteados en los cuatro
grupos (A, B, F y G), a lo
largo de las actividades
de la 5ª sesión. A1-2
en la representación
superior; A3-5 en la
inferior.



GRUPOS	Nº HIPÓTESIS DIFERENTES	Nº MOMENTOS HIPÓTESIS	Nº MOMENTOS HIPÓTESIS FUNDAMENTADAS
A	4	13	6 (46%)
B	4	7	5 (71%)
F	3	5	2 (40%)
G	7	14	11 (79%)

Tabla VI. Número de hipótesis diferentes, momentos de hipótesis y momentos de hipótesis fundamentadas por grupo.

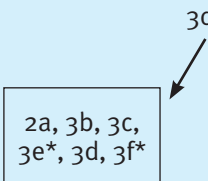
		TRANSCRIPCIÓN	DATOS E HIPÓTESIS
t28	Ane	El problema es que es llano y de repente es así [2a] .Entonces puede ser que cuando se ha formado la cosa esta, puede haber más de un choque, y esos choques pueden hacer que salga...	
	(...)		
t33	Ane	Es que los montes salen así, sí o sí... o sea, para que la placa tectónica de debajo del agua [3b] suba para arriba, tiene que haber un choque [3c] .	
	(...)		
t37	Ane	Yo tengo una teoría	
t38	Aitor	Pero, ¿si el límite está en los Pirineos [3d]?	
t39	Ane	Pero esa colisión puede hacer fallas... puede romperlos... itú sabes el choque que es! [3e*] Y puede crear derrumbamientos... porque si el material no es suficientemente fuerte [3f*] o no se...	

Tabla VII. Intervención del grupo A al inicio de la primera puesta en común.

en 2 momentos de la A3. Este grupo ha propuesto, en total, 4 hipótesis diferentes, y llama la atención que la más mencionada (3 veces) sea la hipótesis de *terremoto*.

El grupo F es el grupo con menos diálogo y también el que menos hipótesis ha planteado: 3 hipótesis diferentes en 5 momentos. Al igual que el grupo B, las hipótesis de este grupo se concentran en la A1 y la A3.

Por último, el grupo G es en el que las hipótesis han sido más variadas (7 hipótesis diferentes, en 14 momentos), y se han concentrado en la A1 y la A4 (con 4 hipótesis diferentes en cada una de estas actividades). Al igual que en el grupo A, las hipótesis de *erosión y/o meteorización* y *compresión en el marco de la tectónica de placas* son recurrentes a lo largo de varias actividades.

Fundamentación de las hipótesis

La última columna de la Tabla VI muestra el número de momentos en que las hipótesis estaban fundamentadas en pruebas. Como se observa, el 60% de momentos en que se formulan hipótesis, éstas se fundamentan en datos de distinta categoría. Estos serían los momentos en que se puede considerar que los estudiantes han construido argumentos (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras, 2017). Todos los grupos presentan momentos de fundamentación de hipótesis en base a pruebas; sin embargo, el comportamiento ha sido dispar.

El grupo A, aun sumando 13 momentos de hipótesis, sólo ha fundamentado 6 de ellas; muy cerca del grupo B, que ha fundamentado 5 de 7. El grupo G destaca por mayor número de hipótesis fundamentadas (11 de 14); y el grupo F por el menor (2 de 5).

Dado que la cartografía, en comparación con las actividades anteriores, ofrece a los estudiantes datos de otro nivel epistémico (patrones de

datos); se analizarán por separado las actividades anteriores (A1-2) y posteriores (A3-5) a esta.

Actividades 1 y 2

La hipótesis de *compresión en el marco de la tectónica de placas* es la hipótesis mayoritaria, se menciona en todos los grupos al menos dos veces y se fundamenta en 1,2 o 7 datos (grupo A). La mayoría de los datos en los que se basan los grupos son de tipo teórico (3a, 3b, 3c), aunque el grupo A también usa datos de la zona como 2a (t28, Tabla VII), y el B y G el 1b. Ninguno de los grupos incorpora con éxito el dato que la profesora añade en relación a esta hipótesis (3d: *el límite de placas está en Pirineos*). El grupo A lo incorpora a su modelo con ideas alternativas como la gran magnitud del choque de placas (3e*: *A grandes efectos, grandes causas*), o la concepción de rocas sedimentarias como sedimentos no-consolidados (3f*), como se aprecia en la Tabla VII (t38-39); y el B y el F no incorporan este dato a su teoría.

Otra de las hipótesis más mencionadas es la de *erosión y/o meteorización*, ya que 3 de los 4 grupos lo hacen (A, F y G), aunque tan solo el G se basa en un dato (3k).

Por otro lado, dos grupos exponen hipótesis de *sedimentación vertical* (A y G), aunque sólo el G lo justifica con un dato (1b). Estas dos teorías se dan casi al mismo tiempo, en la puesta en común, y la profesora las refuta con 3f (Tabla VIII, t41-43). No vuelven a aparecer.

Por último, la teoría del terremoto del grupo B y la de divergencia en el marco de la tectónica de placas del G, están también respaldadas por la idea alternativa 3e* (*A grandes efectos, grandes causas*), como se observa en la Tabla IX (t19-20).

Respecto a los datos, se observa que en estas actividades destacan aquéllos obtenidos de los

Tabla VIII. Intervención del grupo G durante la primera puesta en común, en defensa de la hipótesis de sedimentación vertical.

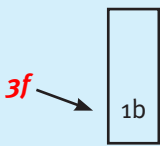
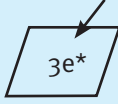
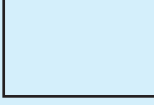
		TRANSCRIPCIÓN	DATOS E HIPÓTESIS
t40	Gloria	No, pero igual empiezan a sedimentar, sedimentar, sedimentar, poco a poco, y al final se queda vertical [1b] . No es que se ha sedimentado en vertical, sino que poco a poco...	
t41	Profesora	Pero eso es imposible, ¿cómo consigues que algo que está sedimentándose en horizontal se quede en vertical? [3f]	
t42	Gloria	Por ejemplo aquí va sedimentándose, aquí, aquí...	
t43	Profesora	Aquí, encima, se cae de manera natural... [3f]	

Tabla IX. Fragmento del grupo B durante la A1.

		TRANSCRIPCIÓN	DATOS E HIPÓTESIS
t5	Bea	Pues que ha habido muchos movimientos , ique se ha movido! [3e*]	2a, 3a, 1b  
t6	Borja	O sea han estado así...	
t7	Blanca	Unos están así y otros están así [2a]	
t8	Bea	Pues que ha habido...	
t9	Blanca	Estando al lado, unos están así y otros así [2a]	
t10	Bea	Pues que ha habido movimiento, digo yo... porque ha habido un movimiento grande. Terremoto. Terremoto, yo pondría que es terremoto, o movimiento.	
t11	Begoña	Tsunami	
t12	Bea	Tsunami, claro, se ha movido	
t13	Blanca	Eso fijo, pero...	
t16	Borja	El suelo... todo lo que esto, va para arriba	
t15	Blanca	Pero...	
t16	Borja	O sea, por ejemplo, ha habido...	
t17	Blanca	Vale, ¿y las que están aquí así? O sea, ¿qué diferencia hay? Todas están así, y de repente aquí están verticales [2a]	
t18	Bea	Pues que ha habido más terremoto ahí	
t19	Blanca	Pero ¿por qué das por hecho que ha habido terremoto?	
t10	Bea	Joe pues porque si se ha movido, ipues habrá pasado algo! [3e*] ¡Yo qué sé!	
t21	Borja	Ha habido movimiento en el suelo y...	
t22	Blanca	Cuando se crean están todas así [3a]. La cosa es cómo esas se han levantado [1b]. O sea estas están así, todas... ¿Cómo éstas se han levantado? [2a]	
t23	Bea	Placas tectónicas	
t24	Bruno	Las placas tectónicas son así	
t25	Borja	Así, mira, ipap! Va subiendo...	

modelos teóricos (3a, 3b, 3c, 3d, 3e*, 3e, 3f*), que, además, son los más empleados en la defensa de las hipótesis (en especial por el grupo A) y en las refutaciones. Además, 3 grupos (A, B y G) hacen mención a un dato concreto (1b), y el A también menciona el 1a. Por otra parte, los patrones de datos (Cat. 2) escasean en estas primeras actividades.

Actividades 3, 4 y 5

En primer lugar, la hipótesis de *erosión y/o meteorización* vuelve a aparecer en los 4 grupos en diferentes momentos. Al final de la cartografía lo plantean el A y el F, sin justificarla con ningún dato (Tabla X, t 66-69); y el B justificándolo con el dato 2b. Después de dibujar la evolución de la cuenca en tres etapas, vuelve a esta teoría el G, pero esta vez

con más datos y más diversos (1e, 3l, 2b, 2d, 3h); y también el A, pero sin datos.

Al empezar a ver la forma tridimensional del relieve y la distribución espacial de los estratos (2b, 2c) y en algunos casos, además, la inclinación de estos (2e); algunos estudiantes empiezan a visualizar una forma de “cráter” y se plantean hipótesis como *meteorito* (F y G), o *volcán* (G) e incluso la *acción del ser humano* (G) o de nuevo, la *acción de un terremoto* (B). En la Tabla X (t 60-65) se muestra el ejemplo del grupo F.

Las teorías de *material ascendente* son las más cercanas a lo que sucedió en realidad, y empiezan a formularse de manera autónoma sólo en los grupos A y G, a partir de la A4, al dibujar la evolución geológica en 3 etapas; aunque ninguno consigue

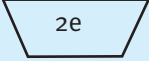
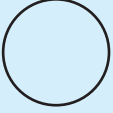
		TRANSCRIPCIÓN	DATOS E HIPÓTESIS
t60	Fidel	¿Estáis viendo, estáis viendo lo que ha pasado aquí?	 
t61	Facu	¿Qué ha pasado?	
t62	Fidel	En plan, estos van para allá, estos van para allá, estos van para allá estos van para allá... [2e]	
t63	Facu	¿Y cómo lo explicas?	
t64	Fidel	Un meteorito	
t65	Todos	[se ríen]	
t66	Félix	Si te lo he dicho antes, no es meteorito, que esto antes era todo plano, y empezó por aquí el agua, empezó a desgastar todo esto...	
t67	Fidel	A ver, a ver, a ver...	
t68	Facu	Que no, que no, un meteorito	
t69	Fidel	Esto no lo ha desgastado todo el agua, no flipes	

Tabla X. Fragmento del grupo F durante la A4.

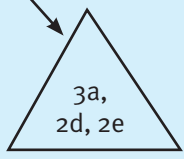
		TRANSCRIPCIÓN	DATOS E HIPÓTESIS
t175	Gabriel	¡Ya sé, ya sé, ya sé... lo que ha pasado! ya está, ilo he visto! ilo he visto!	
t176	Gloria	¡Qué suerte!	
t177	Gabriel	¡Lo he visto! ¡Lo sé!	
t178	Gonzalo	¿Lo has visto?	
t179	Gloria	¿Qué? ¿Qué?	
t180	Gabriel	Además es de geología... ¿Sabes lo que ha pasado?, que esto antes estaba así [3a] y, ¿qué ha pasado?, que esto ha hecho para arriba, como una... eh... ero... no sé cómo se llamaba... aparecía por... no erosión no... eh... no sé, pero aparece; entonces que hace el otro puf... [probablemente quiera decir intrusión]	
t181	Gloria	¿Hace qué?	
t182	Gabriel	Esto al principio estaba así, y... ¿las evaporitas de qué están hechas? ¿No son...? ¿Las evaporitas cómo se forman?	
t183	Profesora	¿Cómo dijimos que se formaban?	
t184	Gabriel	Jo, no me acuerdo	
t185	Profesora	Te lo dice el nombre, ... por evaporación... entonces un entorno como el mar muerto actual, ¿no? Un entorno tranquilo, de poca profundidad, en el que el agua se va evaporando y las sales se van quedando. [3b]	
t186	Garikoitz	Y tiene que pasar mucho tiempo para que se formen	
t187	Gabriel	Yo ahora, viendo esto... [llama a la profesora], me recuerda que lo vi en BioGeo, esto sale de debajo de la tierra, [2e, implícito] así, ipam!	
t188	Profesora	¿Y cómo?	
t189	Gabriel	¿Cómo ha salido? No sé, eso no sé.	
t190	Gonzalo	Así y así...	
t191	Gabriel	No... estaba antes así y esto estaba más abajo [3a] y no sé por qué esto, la presión o algo así, hace para arriba [2d, 2e] , hace fluum...	

Tabla XI. Intervención del grupo G al final de la A4.

dar con el agente causante de este fenómeno. Ambos grupos se basan en la prueba 2e; aunque también mencionan otras: Ane (3h, 2e); y Gabriel (3a, 2d, 2e). La teoría de este último es parcialmente refutada por la profesora con el dato 3b, como se aprecia en la intervención de la Tabla XI (t185):

Tras la última puesta en común 3 grupos discuten sobre los nuevos datos aportados por la profesora (3i y 3j) y los enmarcan en la hipótesis de material ascendente; o diapirismo.

Como se observa, a partir de la A3 cambia la naturaleza de los datos mencionados, porque

disminuyen los datos concretos y teóricos (Cat. 1 y 3) y aumentan los patrones de datos extraídos de la cartografía (Cat. 2). Cabe destacar que el dato 2e, que puede convertirse en prueba clave para la construcción de este modelo, se menciona en la puesta en común de la A3 por la profesora (aunque el grupo F ya la menciona antes, para defender la teoría de *cráter*). 3 de los 4 grupos tienen en cuenta este dato al realizar la A4 (A, F y G), aunque sólo el A y el G lo emplean como evidencia para defender una hipótesis.

DISCUSIÓN

Respecto a las hipótesis y los datos en los que se basan

Una de las hipótesis más recurrentes a lo largo de toda la sesión ha sido la de *erosión y/o meteorización*; que ha sido planteada por todos los grupos en algún momento; seguramente porque, como indica Pedrinaci (1992), el estudiantado tiende a explicar los cambios geológicos exclusivamente en base a los procesos destructivos del paisaje, y suele omitir los constructivos.

Por otro lado, las hipótesis de *sedimentación vertical* y el uso de datos relacionados con la no consolidación de las rocas sedimentarias (3f*), han aparecido al inicio de la secuencia, paradójicamente, mientras los estudiantes estaban observando los estratos inclinados en unas fotografías. Sin embargo, después de ser refutados por la profesora, tanto la teoría de sedimentación vertical como el dato 3f* no vuelven a aparecer. Estas ideas alternativas coinciden con la dificultad histórica de comprender el proceso de diagénesis, esto es, la creación de rocas sedimentarias partiendo de sedimentos, que también es habitual en las respuestas de los estudiantes (Pedrinaci, 1992).

En cuanto a las hipótesis de *compresión y extensión en el marco de tectónica de placas*; es destacable que, aparecen, sobretodo, en las actividades anteriores a la cartografía, y lo hacen respaldadas por los datos teóricos y/o los datos basados en ideas alternativas.

El fragmento de la Tabla IX del grupo B es muy interesante a este respecto, porque muestra la idea alternativa 3e* como “justificación” para la teoría de la tectónica de placas; y también es ejemplo del empleo de una “metodología de la superficialidad” (Gil-Pérez y Carrascosa-Alis, 1985), por ejemplo, en el t18, t23 y t25. Al mismo tiempo, se observa cómo una de las participantes (Blanca) refuta las teorías catastrofistas (pre-científicas) propuestas por sus compañeros con las pruebas disponibles (1b, 2a y 3a), aunque no es capaz de proponer ningún otro mecanismo alternativo. Es llamativo que los participantes del grupo que usan la “metodología de la superficialidad” y defienden teorías catastrofistas (todos excepto Blanca), acaben encontrando en la tectónica de placas la teoría en la que “todo cabe”, hasta sus ideas alternativas. En el fragmento mencionado se contraponen unos estudiantes (Begoña, Bea y Borja) que están *haciendo la tarea* o que están *actuando como estudiantes* a otra estudiante (Blanca) que está *haciendo ciencia* (Jiménez-Aleixandre et al., 2000) en el contexto escolar.

En general llama la atención la celeridad con la que todos los grupos tratan de explicar los fenómenos estudiados, especialmente mediante la teoría de la tectónica de placas: todos los grupos han mencionado las palabras “*tectónica de placas*” en la A1, cuando apenas tenían datos que valorar. Este hecho refleja dos cosas:

- (1) Aunque el alumnado “exponga” este paradigma científico, realmente no está *haciendo ciencia*, sino que está cumpliendo con su rol de estudiante, respondiendo, sin evidencias, con lo que considera que va a ser la “respuesta correcta”; es decir, que están inmersos en la *cultura escolar* (Jiménez-Aleixandre, 2003; Jiménez-Aleixandre et al., 2000;)
- (2) Los estudiantes tienen problemas para determinar si un dato es o no relevante y para decidir si los argumentos en defensa de las hipótesis son suficientes; es decir, tiene problemas con el modelo de fondo o “*background model*” (Böttcher y Meisert, 2011), que consiste en tener una base epistemológica de la disciplina (Duschl, 2008). Por ello, acaban empleando una “metodología de la superficialidad” (Gil-Pérez y Carrascosa-Alis, 1985; Pedrinaci, 2003), alejada de las metodologías científicas y basada en sacar conclusiones generalizables partiendo de observaciones no controladas y poco rigurosas.

Por otro lado, las hipótesis de *cráter de meteorito, volcán y acción del ser humano*; así como la hipótesis de *material ascendente*, se han basado, directa o indirectamente, en la forma tridimensional del relieve y, en algunos casos, en la disposición espacial de los estratos en relación a este; por eso sólo aparecen en la segunda mitad de la sesión, y lo hacen gracias a la cartografía.

La última hipótesis, la de *material ascendente*, ha sido propuesta por los grupos A y G, cuando han logrado visualizar, a partir de la A4, un proceso de ascensión del material evaporítico, aunque ninguno de los dos ha propuesto un mecanismo que explique esta ascensión. Esto muestra una dificultad en la identificación de las interacciones de los sistemas naturales, que ha sido señalado también por otros autores (García-Díaz, 2001; Pedrinaci, 2003). Aunque no ha sido posible en esta secuencia, pensamos que los estudiantes podrían llegar a deducir un mecanismo para el proceso de ascensión si se les pidiese eso explícitamente.

Respecto al uso de datos antes y después de la cartografía

En general los estudiantes han mencionado datos de todas las categorías descritas. El hecho de que aparezcan alusiones a datos de diferente entidad o categoría constituye un indicador de calidad en el uso de pruebas (Kelly y Takao, 2002). Sin embargo, los datos mencionados y empleados han variado a lo largo de las actividades de la secuencia:

Se ha observado que durante las actividades previas a la cartografía son más abundantes los datos concretos, los teóricos y aquellos basados en

ideas alternativas (Cat. 1, 3 y 3*). A partir de la A3, sin embargo, abundan más los patrones de datos (Cat. 2). Así, parece que la cartografía les ha permitido sintetizar observaciones de una y dos dimensiones en una imagen mental de tres dimensiones, pudiendo identificar estructuras geológicas que no son observables a simple vista, tal y como sostiene la literatura (Balliet, Riggs y Maltese, 2015; Compiani y Gonçalves, 1996; Kastens y Ishikawa, 2006).

También se ha detectado una variación en los datos de categoría 3-3*: muchos de los datos teóricos mencionados antes de la cartografía son extraídos (o pretenden serlo) de la teoría de la tectónica de placas (3c, 3d, 3e, 3e*, 3g*); sin embargo, ninguno de estos datos se menciona después de la cartografía. Parece que los estudiantes han dejado de buscar datos en la teoría de la tectónica de placas o en modelos alternativos y han empezado a valorar, en su lugar, datos del entorno, lo que se valora positivamente por las autoras de este estudio, porque es una práctica más cercana al trabajo real en geología.

Importancia de la visualización

Para terminar, cabe destacar que se ha observado en las palabras de los estudiantes la im-

portancia que ha tenido “visualizar” la estructura tridimensional escondida en el mapa y relacionar esta imagen con otras imágenes estudiadas con anterioridad. De hecho, los grupos A y G sólo han propuesto la hipótesis de ascensión después de realizar la representación visual de las 3 etapas de la evolución del diapiro (actividad A4). Por ello, parece que haber dibujado y visualizado estas etapas ha sido una actividad fundamental para proponer esta hipótesis. Es llamativo el caso de Gabriel, que probablemente ha relacionado esta representación visual con una imagen de una intrusión magmática vista en otra ocasión. Gilbert y Justí (2016) identifican esta capacidad como parte de la “competencia meta-visual”; mediante la cual, entre otras cosas, los estudiantes son capaces de usar visualizaciones que han sido útiles en la explicación de fenómenos conocidos para modelizar fenómenos nuevos.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha diseñado, desarrollado y analizado una propuesta innovadora para la enseñanza de la geología, basada en la reconstrucción

ANEXO I: CATEGORIZACIÓN DE DATOS IDENTIFICADOS EN LAS DISCUSIONES GRUPALES

TIPO DE DATO		DEFINICIÓN
1 Datos concretos aportados en la secuencia	1a	Los límites del estrato están bien definidos
	1b	Los estratos están en vertical
	1c	Las capas de arriba son planas
	1d	El estrato inferior es de arcilla y yeso
	1e	En el nacimiento del Nervión hay un agujero muy grande
2 Patrones obtenidos de los datos aportados	2a	Distinta inclinación del mismo estrato en lugares diferentes
	2b	Relaciona topografía con estratos
	2c	Identifica formas en el relieve
	2d	Disposición de los estratos entre sí
	2e	Disposición de los estratos entre sí e inclinación
3 Datos/información basada en conocimiento teórico	3a	Principio de horizontalidad original
	3b	Paleoambiente de las rocas
	3c	Los montes se forman cuando chocan placas
	3d	El límite de placas está en los Pirineos
	3e*	A grandes efectos, grandes causas (Por ejemplo, el choque entre placas es violento y fuerte)
	3e	Las placas litosféricas se aproximan lentamente
	3f*	Confundir las rocas sedimentarias con sedimentos sueltos
	3g*	Los montes son triangulares normalmente
	3h	Se aplica el principio de superposición de estratos
	3i*	Las calizas son más blandas que las evaporitas
	3i	Las evaporitas son más blandas que las calizas
	3j	Las evaporitas son menos densas que las calizas
	3k	El agua subterránea sale por un manantial situado en el fondo del valle, en el contacto con las arcillas impermeables.
	3l	La erosión se produce muy lentamente
3* Información teórica coherente con ideas alternativas		

de la historia geológica de un diapiro, incluyendo una salida de campo y trabajo cartográfico. Con esta secuencia los estudiantes participantes no solo conocieron los beneficios teóricos de tales metodologías innovadoras, que se trabajaron en otras sesiones de la materia, sino que también experimentaron en primera persona las potencialidades y las dificultades. Lo deseable es que esto les facilite la incorporación de prácticas científicas escolares en su futuro profesional.

El análisis de las discusiones grupales ha tenido como objetivo conocer las hipótesis planteadas por los estudiantes y el uso que hacen de los datos disponibles a lo largo de la secuencia. Las conclusiones principales extraídas de este estudio son:

- (1) Algunas ideas alternativas como la tendencia a explicar los cambios geológicos mediante procesos destructivos (erosión) son muy persistentes.
- (2) Algunos estudiantes muestran, al inicio de la secuencia, problemas para determinar si un dato es o no relevante para defender una hipótesis, es decir, tienen problemas con el marco epistemológico de la disciplina porque están alejados de su cultura. Ejercicios como la cartografía podrían haber ayudado, aunque los resultados de este estudio no son concluyentes a este respecto.
- (3) Antes de realizar la cartografía los estudiantes tienden a teorías catastrofistas basadas en datos extraídos de información teórica y de sus ideas alternativas. Después de la cartografía, por el contrario, proponen hipótesis basadas en patrones de datos de la zona; lo que les acerca más al MCG y al trabajo real en geología.
- (4) Visualizar la estructura tridimensional de los estratos y comparar esta imagen con otras estudiadas con anterioridad parece haber ayudado a que se planteen hipótesis más cercanas al MCG.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la *Ayuda a la Investigación: Mod. II Grupos de la UPV/EHU* (códigos GIU19/008 y PGA20/14).

BIBLIOGRAFÍA

Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611.

Bach, J. y Márquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra*, 25(3), 302-309.

Balliet, R. N., Riggs, E. M. y Maltese, A. V. (2015). Students' problem solving approaches for developing geologic models in the field. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1109-1131.

Blanco-Anaya, P., Díaz de Bustamante, J. y Cardoso-Mendonça, P. C. (2019). Las destrezas argumentativas en la evolución de modelos en una actividad de geología. *Revista Eureka*, 16(3), 3105.

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

Böttcher, F., y Meisert, A. (2011). Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. *Science & Education*, 20, 103-140.

Brown, J. S., Collins, A., y Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.

Compiani, M., y Gonçalves, P.W. (1996). Epistemología e historia de la geología como fuentes para la selección y organización del currículum. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(1), 38-45.

Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(February), 268-291.

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, 915-933.

Erickson, F. (1989). Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza. En M. Wittrock (Ed.), *La investigación de la enseñanza, II. Métodos cualitativos y de observación* (pp. 195-301). Barcelona: Paidós.

Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin*, 107(8), 960-968.

García, C. M. (2007). El origen de las montañas. I. Del mito y la superstición al neptunismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15.1, 16-29.

García-Díaz, J. E. (2001). La construcción de la noción de interacción. *Alambique*, 27, 92-106.

Giere, R. N. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.

Gil-Pérez, D. y Carrascosa-Alis, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *Eur. J. Sci. Educ.*, 7(3), 231-236.

Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Kluwer Academic Publisher.

Gilbert, J. K., y Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Springer International Publishing.

Guy-Gaytán, C., Gouvea, J. S., Griesemer, C. y Passmore, C. (2019). Tensions Between Learning Models and Engaging in Modeling: Exploring Implications for Science Classrooms. *Science and Education*, 28, 843-864.

Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.

Jiménez-Aleixandre, M. P. (2003). El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas. En María Pilar Jiménez-Aleixandre, A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci, y A. de Pro (Eds.), *Enseñar ciencias* (1.ª ed., pp. 13-32). GRAO.

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. y Crujeiras, B. (2017). Epistemic practices and scientific practices in science education. En K.S. Taber y B. Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 69-80), Sense Publishers.

- Kastens, K. A. y Ishikawa, T. (2006). Spatial thinking in the geosciences and cognitive sciences: A cross-disciplinary look at the intersection of the two fields. *Special Papers-Geological Society of America*, 413(53), 53-76.
- Kelly, G. J. y Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342. <https://doi.org/10.1002/sce.10024>
- Koslowski, B., Marasia, J., Chelenza, M. y Dublin, R. (2008). Information becomes evidence when an explanation can incorporate it into a causal framework. *Cognitive Development*, 23, 472-487.
- Mendonça, P. C. C. y Justi, R. (2013). The Relationships Between Modelling and Argumentation from the Perspective of the Model of Modelling Diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434.
- Mogk, D. W. y Goodwin, C. (2012). Learning in the field: Synthesis of research on thinking and learning in the geosciences. *Special Paper of the Geological Society of America*, 486, 131-163.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.
- OECD (2019). PISA 2018 Assessment and Analytical Framework. OECD Publishing <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>
- Osborne, J. (2011). Science teaching methods: A rationale for practices. *School Science Review*, 93(343), 93-103.
- Osborne, J. F., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A. y Yao, S. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53, 821-846.
- Pedrinaci, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investigación en la Escuela*, 2, 65-74
- Pedrinaci, E. (1992). Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las ciencias*, 10.2, 216-222.
- Pedrinaci, E. (1993). Concepciones acerca del origen de las rocas: una perspectiva histórica. *Investigación en la Escuela*, 19, 89-103.
- Pedrinaci, E. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la geología. En M. P. Jiménez-Aleixandre, A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci, y A. de Pro (Eds.), *Enseñar ciencias* (1.ª ed., pp. 147-174). GRAO.
- Petcovic, H. L., Stokes, A. y Caulkins, J. L. (2014). Geoscientists' perceptions of the value of undergraduate field education. *GSA Today*, 24(7), 4-10.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>. ■

Este artículo fue recibido el día 19 de abril y aceptado definitivamente para su publicación el 20 de julio de 2020.