

El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica

The Study of Geological Phenomena from a Systemic Perspective

JOAN BACH¹ Y CONXITA MÁRQUEZ²

¹ Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona. E-mail: Joan.Bach@uab.cat

² Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Facultat de Ciències de l'Educació. UAB. E-mail: conxita.marquez@uab.cat

Resumen Cada vez se está más de acuerdo en considerar que los conocimientos a aprender en la escuela tienen que ser pocos pero claves y generales, útiles para comprender y explicar muchos fenómenos de manera que sean transferibles, es decir, aplicables a la interpretación de muchos otros hechos y a la resolución de problemas no planteados explícitamente en clase. Esto lleva a la necesidad de definir unas ideas clave o modelos teóricos escolares (MTE). En contraposición en el mundo ocurren una gran variedad de fenómenos a escalas espaciales y temporales muy diversas y para los alumnos puede resultar difícil aplicar lo aprendido en un caso concreto para responder otras preguntas que pueden surgir de la observación de otros fenómenos geológicos. Una manera de superar esta dificultad es ayudar al alumnado a aprender a observar y a pensar sobre el mundo desde una perspectiva sistémica. En este artículo se hace una propuesta de ideas clave y MTE y se plantea y ejemplifica una propuesta para estudiar los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica basada en las inundaciones fluviales.

Palabras clave: Cambio geológico, Ideas clave, Inundaciones, Perspectiva sistémica.

Abstract *There is a broad and increasing agreement that science education in school should reduce the amount of subject matter while focusing on key aspects and essential facts that are useful in order to understand and explain a great number of phenomena in a transferable way, which means that the knowledge has to make it easier to interpret a large number of facts and solve problems that have not been explicitly raised in class. Thus it becomes necessary to define core ideas or school science models (SSM). On the other hand, a wide diversity of phenomena happen in the world at different space and time scales. Therefore, students may struggle to apply the acquired knowledge to a specific case to answer further questions that may arise from the observation of geological phenomena. One of the ways to help students overcome these difficulties is teaching them how to observe and think about the world from a systemic point of view. In this article we suggest several core ideas and SSMs and we also present a proposal to study geological phenomena from a systemic perspective, based on river floods.*

Keywords: *Floods, Geological Change, Key ideas, Systemic perspective.*

INTRODUCCIÓN

Frente a la constatación del gran número de conocimientos asociados a cada disciplina hay un cierto consenso en considerar que no se trata de enseñar una gran cantidad de hechos o conceptos inconexos, sino unas grandes ideas (Harlen, 2010) o ideas clave (NGSS, 2013) o modelos teóricos (Izquierdo *et al.* 1999; Izquierdo y Adúriz, 2003; Gilbert, 2004). Los conocimientos a aprender tienen que ser pocos pero claves y generales, útiles para

comprender y explicar muchos fenómenos de manera que sean transferibles, es decir, aplicables a la interpretación de muchos otros hechos y a la resolución de problemas no planteados explícitamente en clase.

Esta propuesta concuerda con la manera con la que la ciencia genera teorías y modelos para interpretar los fenómenos, que van evolucionando a lo largo del tiempo. Los nuevos conocimientos que se van generando a partir de la actividad científica se asocian a un modelo teórico ya formulado para am-

pliar su alcance, revisarlo y, en algunos casos, abandonarlo. Por tanto, en el marco de la ciencia escolar parece obvio que debemos ayudar al alumnado a construir modelos teóricos básicos a partir de los cuales ir conectando los nuevos aprendizajes. Un primer objetivo de este trabajo es concretar cuáles pueden ser estas ideas clave o modelos básicos de la geología.

En contraposición a las pocas ideas clave, o modelos teóricos a enseñar, en el mundo ocurren una gran variedad de fenómenos a escalas espaciales y temporales muy diversas y para el alumnado puede resultar difícil aplicar lo aprendido en un caso concreto para responder a otras preguntas que pueden surgir de la observación de otros fenómenos geológicos. Una manera de superar esta dificultad es ayudar a los estudiantes a aprender a observar y a pensar sobre el mundo desde una perspectiva sistémica. Es decir, ante cualquier fenómeno geológico considerar a) los materiales y la estructura y las relaciones espaciales de los subsistemas implicados, b) los cambios que permiten relacionar el estado final con el inicial y que configuran la dinámica del sistema y c) las interacciones que se generan y permiten interpretar el comportamiento del sistema y los procesos implicados (Buckley y Boulter, 2000). Así, frente a la pregunta: “Por qué el agua se mueve más libremente a través de la arena que de la arcilla y qué repercusiones tiene esto en los acuíferos”, los estudiantes deberían ser capaces de identificar qué tienen que pensar y qué pruebas han de obtener para darle respuesta. Ello comporta una manera de concebir el mundo en la que se pregunten sobre los materiales, las características y estructura del terreno y del agua, las posibles dinámicas, los cambios y las interacciones y, finalmente, que sean capaces de hacer propuestas sobre la ubicación de pozos o sobre cómo paliar la falta de agua en una zona.

Los objetivos de este trabajo son:

- Revisar y proponer ideas clave y modelos teóricos escolares para interpretar fenómenos geológicos.
- Plantear una propuesta para estudiar los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica y aportar un ejemplo de su aplicación.

IDEAS CLAVE PARA INTERPRETAR FENÓMENOS GEOLÓGICOS

El conocimiento científico crece de manera exponencial y esto plantea qué contenidos incluir en los currículos. La sobresaturación de los currículos además genera una desmotivación del alumnado ya que no lo consideran relevante para sus vidas (Jenkins & Nelson 2005). Es un problema que no es nuevo. Distintas iniciativas como el proyecto Patterns en GB, o el proyecto SCIS en USA ya planteaban la necesidad de determinar unas “metaideas” o grandes ideas para la construcción del conocimiento científico escolar.

El objetivo de la educación científica no es el conocimiento de un cuerpo importante de hechos y

teorías, sino la progresión hacia la comprensión de unas ideas clave que les ayudan a explicar los fenómenos del mundo y por tanto puedan ser útiles para su vida.

Más recientemente, Wynne Harlen en el año 2010 lideró un proyecto que se concretó en el documento “Principios y grandes ideas de la educación científica” en el que se proponen 10 ideas de la ciencia y 4 ideas acerca de la ciencia que serían las básicas que todo estudiante independientemente de su género, antecedentes culturales o capacidades debería comprender. En este documento las ideas clave están redactadas indicando el tema y qué se tiene que aprender del mismo. Lo que significa un avance en relación a otras propuestas en las que se presentan listados de conceptos.

De estas ideas clave la cinco “La composición de la Tierra y de su atmósfera, y los fenómenos que ocurren en ellas, le dan forma a la superficie de la Tierra y afectan su clima” y la seis “Nuestro sistema solar es una parte muy pequeña de una de los millones de galaxias en el Universo” hacen referencia a aspectos vinculados con la Geología.

También el documento Earth Science Literacy Initiative (NSF, 2009) concreta las nueve grandes ideas en Ciencias de la Tierra que todos los ciudadanos deben conocer (Tabla I), así como los conceptos básicos (entre 7 y 10) que sustentan cada una de estas grandes ideas.

1- Los científicos de la Tierra usan observaciones repetibles e ideas verificables para comprender y explicar nuestro planeta.
2- La Tierra tiene 4600 millones de años.
3- La Tierra es un sistema complejo de interacción entre las rocas, el agua, el aire y la vida.
4- La Tierra está cambiando continuamente.
5- La Tierra es el planeta del agua.
6- La Vida evoluciona en una Tierra dinámica y continuamente la modifica.
7- La humanidad depende de los recursos de la Tierra.
8- Los riesgos naturales suponen peligros para los seres humanos.
9- La humanidad altera considerablemente la Tierra.

Tabla I. Grandes ideas para la alfabetización en Ciencias de la Tierra (NSF, 2009).

Esta propuesta sirvió de base para desarrollar el documento de Alfabetización en Ciencias de la Tierra (Pedrinaci *et al.* 2013) en el que proponen un nivel de formulación de ideas clave que se adecua a la etapa educativa obligatoria en España.

Desde nuestro punto de vista estas ideas clave deberían contribuir a un doble objetivo: por un lado ayudar a conocer el funcionamiento del sistema Tierra a través de la comprensión de los procesos que en ella acontecen y por otro promover en los estudiantes actitudes sostenibles a partir de valorar la influencia de la actividad humana en este funcionamiento.

Las ideas clave de nuestra propuesta, que surgen de la lectura de las propuestas mencionadas anteriormente, se concretan y estructuran en cuatro bloques que se podrían aplicar a cualquier fenóme-

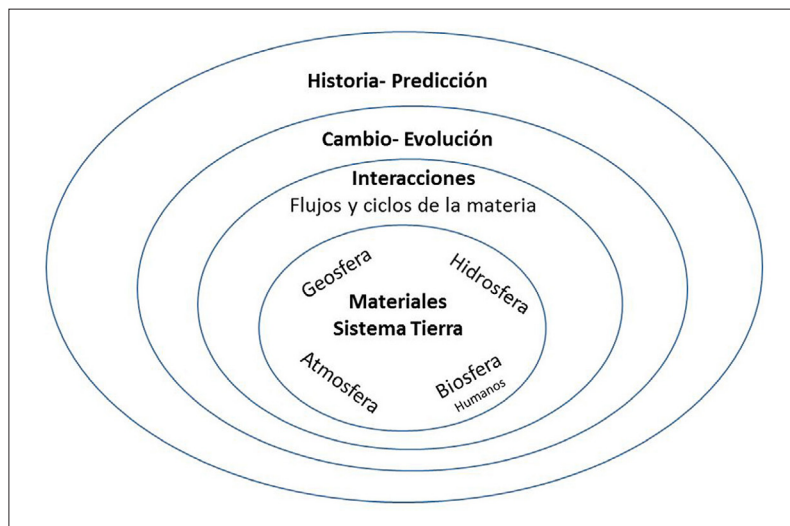


Fig. 1. Esquema de los cuatro bloques de ideas clave propuestas.

no o proceso geológico sobre el que queramos profundizar (Fig. 1):

En el primer bloque se incluye el conocimiento de los **materiales** constituyentes del sistema Tierra y de cada subsistema: **geosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera**. La composición y estructura del sistema Tierra destacando su característica de sistema complejo.

En un segundo bloque se sitúan las **interacciones** que se producen, tanto en las partes (subsistema), en las relaciones entre ellas (entre subsistemas), como en el funcionamiento general (sistema global). Se trata de los estímulos o las reacciones que unos estados y formas de la materia ejercen en otras gracias a la intervención de energía (Bach *et al.* 1988) y que finalmente permiten explicar el funcionamiento del sistema.

Son las interacciones las que organizan los sistemas materiales: hay que comprender el mundo a partir del análisis de las interacciones presentes y de cómo dichas interacciones generan organizaciones complejas (Morin, 1977).

El tercer bloque se apoya en el resultado de estas interacciones que son los **cambios** que configuran la dinámica y la **evolución** en el tiempo del sistema. El intercambio de materia, energía e información asociado a las interacciones nos permite comprender la organización del mundo como una organización dinámica, en la que la materia y

la información circulan de unas partes a otras, y la energía fluye pasando de unas formas de energía a otras (García, 2001). Los cambios dependen de factores limitantes y favorecedores y hacen emerger nuevos constructos (por ejemplo las interacciones entre las diferentes partes del sistema pueden hacer emerger riesgos o impactos ambientales). Por eso se dice que “en un sistema, el todo es más que la suma de las partes”.

En el último bloque se considera que los sistemas cambian dinámicamente a lo largo del tiempo configurando la **historia** del sistema, pero no necesariamente de manera determinista -como sería pensar que siempre una misma causa da lugar a una misma consecuencia-, ya que un sistema puede tener un comportamiento no previsible, pero sí se pueden identificar regularidades. Y son estas regularidades las que permiten hacer **predicciones**.

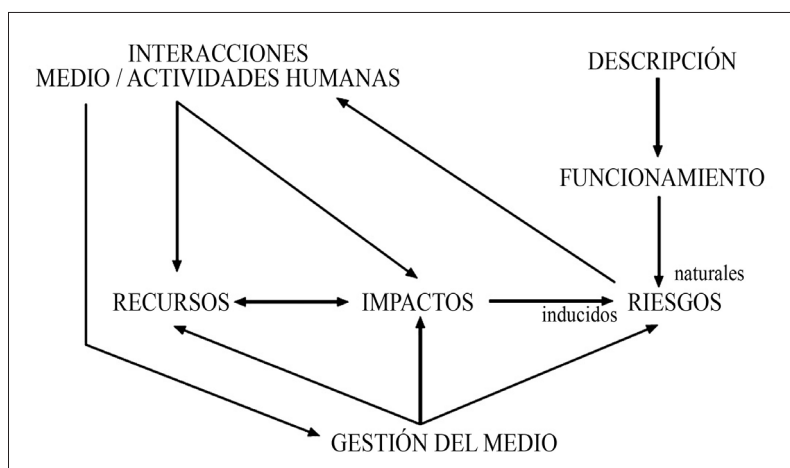
En definitiva, se confecciona la historia de la Tierra a partir de entender los cambios que se reconocen a diferentes escalas, a nivel de afloramiento, de relieve de una zona determinada o a escala global, que son fruto de las interacciones en los materiales que constituyen el sistema Tierra. Esta visión permite además tener un método de hacer predicciones a partir de reconocer los cambios como la parte visible de todo el conjunto de interacciones que se producen.

También es necesario tener en cuenta que la historia actual de la Tierra no puede entenderse sin abordar las interacciones con la actividad humana. Los cambios que se producen son visibles a escala humana y, por ello, representan un centro de interés para abordar el estudio de nuestro planeta. En este sentido, estos cambios pueden ser un buen punto de partida para iniciar el estudio de procesos geológicos que interactúan con la actividad humana. Los intereses de los alumnos pueden estar más próximos a preguntas acerca de problemas derivados de estas interacciones. Seguramente si preguntamos a los alumnos cuáles son sus inquietudes relacionadas con la geología, qué les gustaría conocer, muchas, además de las que propone Pedrinaci (2003), estarían relacionadas con la interacción con la actividad humana:

- ¿Puede darse un terremoto en mi ciudad?
- ¿Se puede dar un episodio de inundaciones?
- ¿Por qué en mi casa bebemos agua envasada y no agua del grifo?
- ¿Todas las rocas son adecuadas para escalar?
- ¿Por qué en nuestro entorno no hay montañas tan altas como el Everest?
- ¿Cómo podemos evitar que cada vez tengamos menos arena en la playa?

Estas interacciones se concretan en cada caso (Fig. 2) en el estudio de los riesgos derivados de la dinámica natural del sistema o de la propia actividad humana, de los recursos que se requieren de él y de los impactos que sobre él provoca la acción antrópica. Finalmente surge como necesidad ante la interacción entre el sistema natural y la actividad humana la gestión de este sistema (Bach *et al.*, 1998).

Fig. 2. Esquema de las interacciones con la actividad humana (modificado de Bach, *et al.* 1998).



MODELOS TEÓRICOS ESCOLARES PARA INTERPRETAR FENÓMENOS GEOLÓGICOS

Muchos autores resaltan la importancia del uso de modelos en la enseñanza de las ciencias (Gilbert, 2004; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009; López Mota y Moreno- Arcuri, 2014). En nuestra propuesta, creemos que los contenidos conceptuales de las ciencias que tienen que aprender los alumnos no tienen que ser conceptos desconectados y compartimentados, habría que reducirlos y relacionarlos con los grandes modelos científicos escolares (MCE) análogos a los de la ciencia. Los modelos científicos escolares son afirmaciones, de naturaleza conceptual que nos permiten explicar y predecir fenómenos que suceden en el mundo.

Estos MCE comparten por tanto algunos aspectos importantes con los modelos científicos: tienen un carácter teórico; hacen referencia a una manera de mirar los fenómenos que relacionan entidades con su comportamiento y se expresan de manera diversa (esquemas, dibujos, ideas clave). Es decir, engloban todo aquello que queremos que el alumnado aprenda de una cierta “forma de mirar el mundo” de manera que le permita predecir y explicar los fenómenos que tratamos en el aula.

Una expresión de los MCE son las ideas del modelo. Estas ideas son un conjunto de frases que expresan las reglas de juego determinadas y propias de la disciplina.

Desde esta perspectiva, tiene sentido planificar el currículo de la ciencia escolar en función de unos modelos básicos, que posibiliten afrontar el análisis de sistemas del mundo natural (biológicos, físicos, de los materiales y geológicos) entendiendo por sistema, un conjunto de elementos que se relacionan entre sí para llevar a cabo una o varias funciones.

El modelo cambio geológico

En el ámbito de los sistemas geológicos se considera que el modelo básico sería el cambio geológico. Las afirmaciones que configuran el modelo son (Adaptación de Pedrinacci, 2003):

- La Tierra está sometida a cambios, unos son graduales y continuos, otros esporádicos e intensos.
- Los cambios dejan huella, bien por los materiales que originan, bien por las formas y estructuras resultantes.
- Algunos de estos cambios son motivados por los agentes externos, que tienen en el Sol y en la gravedad sus fuentes de energía.
- Otros cambios son causados por procesos internos, que son activados por la energía térmica del interior terrestre y la gravedad.
- Las actividades humanas están alterando el planeta Tierra.

Este modelo o teoría se subdivide en otros submodelos más concretos como el modelo Tectónica de placas, ciclo externo, gestión del medio. Estos submodelos, con sus afirmaciones asociadas, se activan en función del fenómeno objeto de estudio ya que permiten una mirada más focalizada y explicativa.

El modelo cambio geológico es la manera de

mirar la diversidad de cambios de la tierra. Si los estudiantes son capaces de considerar que los materiales terrestres se originan y cambian constantemente, que hay cambios pero también conservación y que la materia sigue un ciclo, que todo cambio requiere una energía, que los cambios pueden provocar un impacto en el medio, etc... están aplicando el modelo cambio geológico y pueden explicar y predecir un conjunto de fenómenos diversos (Márquez y Artés, 2016). Por ejemplo, el submodelo tectónica de placas explica tanto por qué en una determinada zona del mundo son frecuentes los terremotos como por qué en lugares muy alejados podemos encontrar las mismas rocas y fósiles. También posibilita predecir el aspecto de la superficie de la Tierra en 50 millones de años.

PROPUESTA PARA ESTUDIAR LOS FENÓMENOS GEOLÓGICOS DESDE UNA PERSPECTIVA SISTÉMICA

A finales del siglo XX se vio la necesidad de tener una visión de conjunto para abordar determinados problemas que con el método analítico-reduccionista, que se basa en dividir un problema complejo en cuestiones más simples y abordables, no podían resolverse debido a las dificultades de aplicación y de obtención de resultados, cuando el fenómeno estudiado es especialmente complejo.

Como es bien conocido el impulsor de esta visión o perspectiva sistémica fue Bertalanffy (1968) que en su teoría general sobre sistemas aportó que en el “todo” respecto a sus partes aisladas “emergen” unas características nuevas. Por ello, cuando se descompone una unidad en partes, no se pueden estudiar las propiedades emergentes, porque estas no están presentes en las partes. Un sistema se define como un complejo de elementos interactuantes. Destacando la importancia de las interacciones por encima de las características específicas de cada elemento. Así, la estructura y el comportamiento del sistema son los que determinan su evolución en el tiempo.

Esta nueva visión se incorpora también al mundo de la enseñanza de la Geología, así un informe de la American Geophysical Union (1997) afirmaba que se estaba produciendo una revolución en las ciencias de la Tierra relacionada con la consideración de la Tierra como un sistema y que el uso didáctico de este enfoque debería incorporarse al sistema educativo. Y de hecho, la descomposición del sistema Tierra en subsistemas (geosfera, atmósfera, hidrosfera, biosfera y esfera social) que se trabaja desde los primeros cursos de la ESO se adscriben a este enfoque. Uno de los argumentos a favor de esta consideración es que permite interpretar fenómenos complejos y de actualidad. La realidad que se quiere comprender será el resultado de la interacción entre estos subsistemas y de la constatación de que los cambios en uno de estos tienen la capacidad de producir cambios en todos los demás. Pedrinacci (2001) ya abogaba por esta perspectiva “El argumento de más peso a favor de la consideración de la Tierra como sistema, aquél que resulta difícil no considerar concluyente es la ausencia de alternativa para abordar toda una

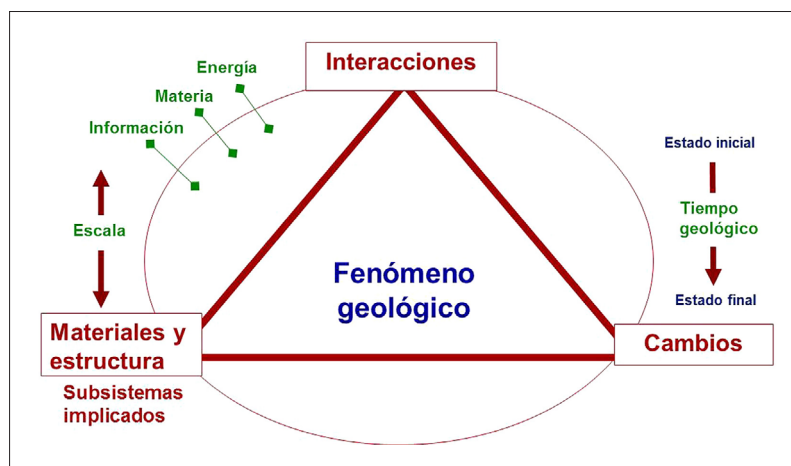


Fig. 3. Propuesta para estudiar los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica.

serie de problemas complejos acerca del funcionamiento de nuestro planeta como el cambio climático o el fenómeno del Niño”.

También se plantea como una opción para superar las insuficiencias del conocimiento convencional y aplicar la perspectiva sistémica para estructurar y organizar los conocimientos conceptuales del ámbito de las ciencias que pueden tener interés educativo para la etapa de primaria (Cañal *et al.* 2005; Sanmartí, Pigrau, web Tresor de recursos <https://www.tresorderecursos.com>). Además, la perspectiva sistémica propone una manera de mirar los fenómenos que ayuda a los alumnos a describir e interpretar la gran variedad de fenómenos geológicos que acaban configurando el funcionamiento de la Tierra.

A continuación se concreta nuestra propuesta para estudiar los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. El objetivo es aplicar una metodología que sirva para abordar el estudio de las preguntas que se plantean los alumnos como inquietudes propias o aquellas que se plantean los docentes como preguntas clave.

Esta metodología se concreta en aplicar las ideas clave propuestas junto a la perspectiva sistémica como estrategia de resolución de un problema. Para ello, se utiliza un esquema triangular (Fig. 3) en el que se sitúa en el centro el elemento a estudiar, un fenómeno geológico que surge de las preguntas que se formulan. En los vértices del triángulo los tres bloques considerados en las ideas clave: 1) interacciones, 2) cambios y 3) materiales y estructura de los subsistemas implicados. La manera de proceder ante la pregunta o el proceso que queremos estudiar estará de acuerdo con el análisis que se hará desde cada uno de los vértices sin que necesariamente haya un orden claramente preestablecido de inicio. Así, por ejemplo, desde un punto de vista clásico, no sistémico, en primer lugar se abordaría el estudio de los materiales y estructuras, aunque no tengamos un problema planteado. En un planteamiento sistémico empezamos con un problema o pregunta que queremos resolver (relativa a un fenómeno geológico) y el orden en el que realizamos el estudio puede ser diverso, algunas veces se analizan los cambios que han generado, desde un estado inicial a un estado final que es el visible en este momento. Los cambios ponen en evidencia las interacciones que se han producido y estas plantean en que materiales se

han producido es decir, cuales son los subsistemas implicados. Otras veces, según la pregunta formulada, se analizan los subsistemas implicados y, a continuación, las interacciones que se producen para interpretar finalmente los cambios.

Es importante destacar que esta metodología de trabajo pretende que seamos conscientes, al abordar cualquier estudio, del interés de considerar las ideas clave: interacciones, cambios y materiales y estructura de los subsistemas implicados.

En general la metodología de análisis que se propone se fundamenta en la percepción y conceptualización del cambio geológico. Aunque no siempre es fácil darse cuenta de los cambios que han ocurrido, ya que muchos de ellos son muy lentos, es decir tienen lugar a una escala de tiempo geológico, es necesario buscar estrategias que ayuden a reconocerlos. Una de las más fructíferas es plantear situaciones que introduzcan contradicciones en las ideas de los estudiantes. Por ejemplo, ante la concepción claramente asumida por muchos estudiantes que las rocas no cambian y son las mismas que se formaron cuando se formó la Tierra plantear “cómo os explicáis que algunas rocas contengan fósiles”. Si el alumnado no asume que hay cambios evidentemente no tiene necesidad de buscar explicaciones o aplicar el modelo de cambio geológico para explicarlo. Las contradicciones ayudan a dar sentido a la necesidad de explicarlos.

Otra estrategia puede ser el establecer la idea de un estado final que procede de un estado inicial, que puede definirse en base a buscar situaciones en las que el proceso que estamos estudiando no se haya desarrollado todavía. Por ejemplo, la erosión que provoca un temporal de levante en la costa, se puede comparar con imágenes previas anteriores al temporal (Fig. 4), de manera que se ilustra el cambio ocasionado. Así pues, se debe considerar que percibir los cambios es sinónimo de la existencia del proceso o fenómeno que estamos estudiando y para ello la comprensión de la escala de tiempo geológico juega un papel esencial.

Asimismo, si se han reconocido los cambios sucedidos, se podrán empezar a buscar las interacciones que se han dado para poder explicar estos cambios y, al mismo tiempo, cuáles son los subsistemas implicados en estas interacciones y en los cambios percibidos.

En este punto también debemos tener en cuenta, como propone Pascual (2013), que la visión sistémica de la interacción de los sistemas de la Tierra con la humanidad lleva al concepto de la sociedad humana (sociosistema) como un subsistema integrado dentro del geoeosistema.

Este enfoque permite integrar: a) el tratamiento de los recursos minerales y geológicos en general, b) el flujo de residuos hacia los sistemas naturales terrestres, c) los riesgos geológicos y d) los impactos sobre la atmósfera, hidrosfera y geosfera. Todo ello considerando un esquema sistémico cuyo análisis permite la comprensión de los diferentes aspectos sin la pérdida de la concepción global, tal como se ha expuesto en el apartado de las ideas clave (Fig. 2), cuya finalidad sería una mejor gestión del medio.

Asimismo este enfoque permite llegar al concepto de sostenibilidad en su vertiente ambiental o eco-

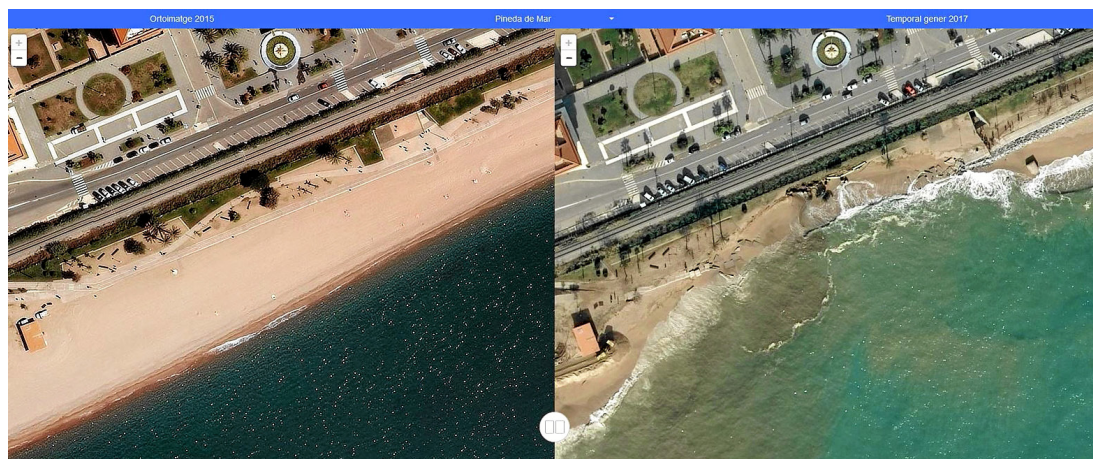


Fig. 4. Comparación a partir de imágenes aéreas de la zona costera delante de la población de Pineda de Mar (Maresme), en el año 2015 y después del temporal de levante de enero de 2017. Imágenes del visor de la evolución de la costa (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya - ICGC).

lógica, derivada de los efectos perversos generados en la estructura del geosistema.

Cada fenómeno geológico que se quiera estudiar implica la participación de diferentes subsistemas y estos tienen una estructura y están formados por unos materiales. En el subsistema geosfera los componentes materiales pueden ser: rocas, estratos, etc. La composición de ellos es importante, pero desde la perspectiva sistémica no es el objetivo principal del análisis, ya que este se centra en los cambios y las interacciones (todos los procesos de la Tierra son el resultado de los flujos de energía y los ciclos de materia dentro y entre los subsistemas terrestres).

Cada subsistema puede analizarse a distintas escalas. Que pueden ir desde una escala más local a una más global. Es decir, desde la formación del relieve a la de las rocas o los minerales. La escala de trabajo ayudará a determinar los límites físicos en los que se desarrolla el fenómeno, diferenciando los elementos que se encuentran dentro del sistema

seleccionado de los que están fuera. También ayudaran a definir los intercambios de energía, materia e información que tienen lugar.

Para entender mejor la propuesta realizada a continuación se presenta el estudio de las inundaciones fluviales bajo esta perspectiva:

Ejemplo: Las inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales constituyen uno de los riesgos geológicos más extendidos mundialmente y más frecuentemente experimentados. Al mismo tiempo originan más pérdidas de vidas y bienes que cualquier otro tipo de desastre natural. Por ello, suele ser habitual que el alumnado esté interesado por este fenómeno, ya sea por una afectación cercana a su población, o bien, por las noticias que con gran asiduidad hacen referencia a lugares de la Tierra afectados por este peligro. En este caso, tenemos la posibilidad de contar con muchos ejemplos que pueden ser útiles como punto de partida, en el centro del esquema (Fig. 5) hemos puesto una imagen que ilustra la situación

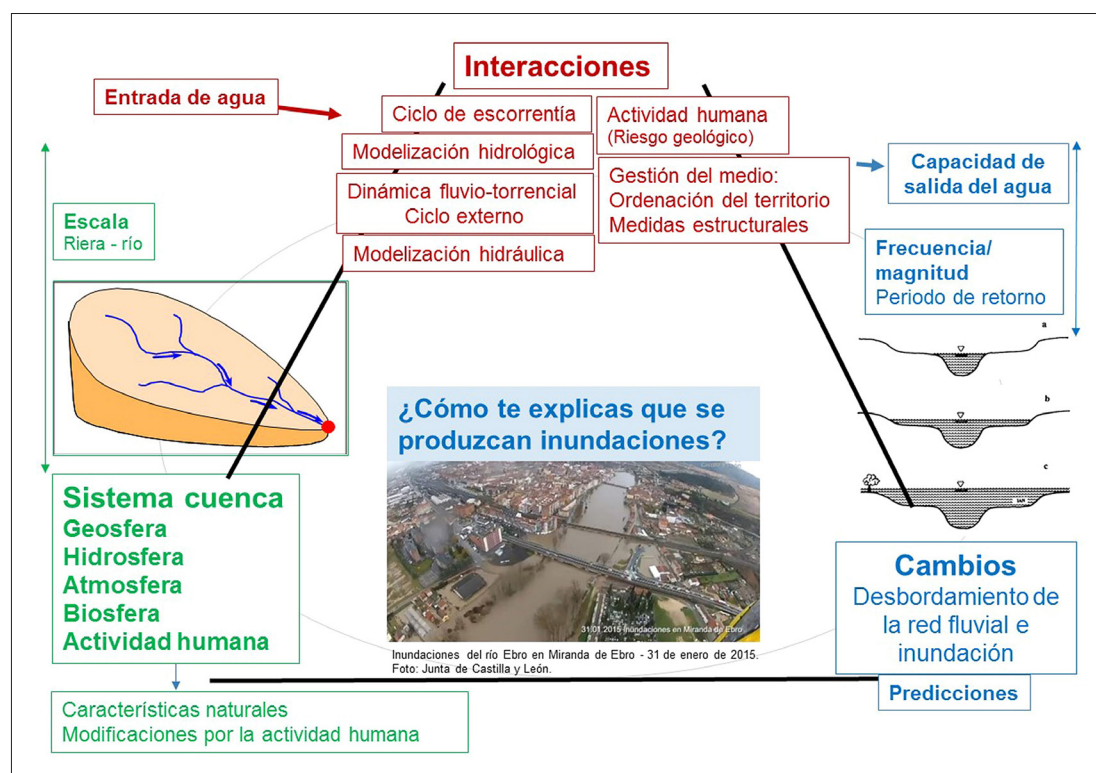


Fig. 5. Aplicación de la perspectiva sistémica al estudio de las inundaciones fluviales.

de la población de Miranda de Ebro el 31 de enero de 2015, ante la crecida del río Ebro.

Una pregunta genérica que podemos utilizar es: ¿Cómo te explicas que se produzcan inundaciones? Es interesante plantear la pregunta a partir de la problemática surgida de alguna de las inundaciones que probablemente se haya producido a nivel local o global recientemente.

¿Cómo empezamos el análisis de esta problemática? Tal como hemos comentado tenemos muchas posibilidades, si utilizamos la propuesta desde la perspectiva sistémica, una primera idea a plantear es que en el sistema objeto de estudio las entradas de agua han superado la capacidad de salida de la misma provocando la inundación y esto se manifiesta a través de los cambios que han ocurrido para producirse las inundaciones.

Por tanto nos podemos preguntar: ¿Qué cambios observamos en una inundación?

- Ascenso del nivel de agua en la red de drenaje hasta que supera la capacidad del canal dando lugar al desbordamiento.
- Inundación de las zonas próximas al curso fluvial e interacción con las infraestructuras realizadas por la actividad humana.

La idea de cambio se puede relacionar con la periodicidad (tiempo): ¿Cada cuándo suceden estos episodios de inundación? Esto nos lleva al concepto de período de retorno y al mismo tiempo a la magnitud o intensidad de la avenida. Una inundación de un ascenso del nivel del agua de x metros se produce cada y años.

Una vez que se han observado estos cambios, y con la finalidad de responder a la pregunta inicial, se puede introducir la idea de cuáles son los subsistemas implicados. Se debe definir el marco físico en el que se producen las inundaciones o circulación del agua, en este caso de inundaciones fluviales se trata de la cuenca hidrográfica o sistema cuenca (Bach, 2001). En él participan todos los subsistemas de la Tierra que previamente se han distinguido: la geosfera como el entorno físico y la hidrosfera que aporta el agua causante de la inundación, pero también la atmósfera que es donde se generan los fenómenos meteorológicos que dan lugar a la lluvia, la biosfera que puede condicionar la escorrentía del agua y finalmente la actividad humana que por su presencia genera propiamente el concepto social de riesgo geológico, que puede generar acciones que potencian o minimizan la posibilidad de una inundación.

Cada uno de los subsistemas presentes en el sistema cuenca tiene unas características determinadas que van a condicionar el desarrollo de los procesos fluviales y que podemos ir especificando según el interés que tengamos en profundizar en el tema. Por ejemplo, las características naturales de la cuenca (Bach, 2008) como: tamaño, morfología, pendiente, red de drenaje, formaciones geológicas superficiales, capacidad de infiltración, tipos de suelo, cubierta vegetal, etc. También los aspectos hidrogeológicos como el caudal y el hidrograma.

Por otro lado, tenemos que conocer las características meteorológicas y climáticas de la zona donde se sitúa la cuenca, con la finalidad de saber el

tipo de precipitaciones y su intensidad en los episodios de inundación.

Por último, las modificaciones de la cuenca debidas a la actividad humana: vías de comunicación con especial énfasis en los puentes, edificaciones, etc.

Todos estos aspectos van a constituir los datos de base para a continuación presentar el conjunto de interacciones que tienen lugar para producir una inundación.

En las interacciones se presentan los procesos que se producen cuando los elementos descritos empiezan a interactuar. Se trata de visualizar qué pasa cuando en el sistema cuenca se da una entrada de agua de precipitación. Se activa, por un lado, el ciclo de escorrentía, que transforma la lluvia en escorrentía (modelización hidrológica) y por otro, todos los procesos fluvio-torrenciales que, impulsados por el agua canalizada, actúan sobre el relieve de la cuenca dando lugar a erosión, transporte y sedimentación, en función de alcanzar un perfil de equilibrio respecto a un nivel de base en su desembocadura.

La morfología fluvial se caracteriza por presentar en el fondo del valle una zona llana conocida como la llanura de inundación, ocupada por el agua sólo en las avenidas extraordinarias. En esta llanura se encaja el canal por donde circula el agua de manera permanente, también denominado lecho o cauce del río, delimitado por unos márgenes o motas. La evolución geológica de las llanuras aluviales por encajamiento del río debido a la erosión regresiva por cambios en el nivel de base, genera las terrazas fluviales que se reconocen por formar rellanos a diferentes alturas a ambos lados del río. Esta morfología es un indicador de la dinámica fluvial que nos ayuda a definir las zonas con distintos grados de peligrosidad a las inundaciones.

La morfología de los canales permite conocer la capacidad de transporte (modelización hidráulica).

Por último las interacciones con la actividad humana comportan dos grandes ámbitos de actuación. Por un lado, la exposición de estas actividades a las zonas que pueden inundarse comporta un *riesgo geológico*, mientras por el otro, la *gestión del medio*, corresponde a una adecuación de las actividades para no estar sometidas a la inundación o, como mínimo a reducir al máximo los efectos de la misma. Esto se traduce en medidas de ordenación del territorio y/o medidas estructurales.

Todas las interacciones, incluidas las debidas a las actividades antrópicas, producirán cambios en la cuenca que favorecerán o no las inundaciones. Claramente, el estudio de las interacciones permite determinar variables y aspectos que controlan y regulan el proceso.

En definitiva, la idea de trabajar de manera sistémica permite visualizar las relaciones que se establecen y reflexionar sobre la necesidad de adoptar determinadas medidas que puedan favorecer nuestra relación con los procesos geológicos que se desarrollan. También representa un primer paso a la realización de predicciones o escenarios en los que se plantea ¿Qué puede pasar si...? En este ejemplo de las inundaciones la administración ha confeccionado los mapas de peligrosidad ante las inundaciones para distintos períodos de retorno, de manera

que podemos conocer cuáles serán las zonas que se pueden inundar si las condiciones meteorológicas desencadenan precipitaciones (entrada de agua en la cuenca) de una magnitud determinada.

En este caso, la relación entre las entradas y la capacidad de las salidas de agua en la cuenca tienen como consecuencia la posibilidad o no de que se produzca una inundación. En otro ejemplo el desequilibrio entre las entradas y las demandas de agua puede ocasionar un agotamiento de los pozos de la zona, debido tanto a un descenso de las entradas de agua (periodo de sequía) o a una sobreexplotación del acuífero, entre otras causas. Pero en ambos casos la manera de mirar será la misma: identificar el sistema y subsistemas implicados, los cambios y las interacciones que los regulan y controlan.

REFLEXIONES FINALES

Esta manera de estudiar los fenómenos geológicos se sitúa en la premisa de que el conocimiento no se puede transmitir sino construir. Las primeras explicaciones del alumnado pueden evolucionar a partir de aplicar la propuesta sistémica en la interpretación del fenómeno. Ésta consiste en describir e identificar el cambio, pensar en las interacciones que lo han hecho, lo hacen o lo harán posible y dar valor a las propiedades y características de los materiales y subsistemas implicados.

La geología, que puede parecer lejana y de poco interés, puede convertirse en interesante para los alumnos si aplican las ideas teóricas de la disciplina. El modelo *cambio geológico* sirve para responder o aprender a mirar situaciones relevantes para la sociedad. Las noticias relacionadas con catástrofes naturales, escasez de recursos (agua, petróleo, minerales, etc.), ascensiones a altas montañas, son frecuentes en los medios de comunicación. Cualquiera de ellas puede situarse en el centro del triángulo sistémico expuesto y generar una actividad que llevará a la descripción, explicación y justificación del fenómeno y ayudará a fundamentar decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Grupo LIEC (2009SGR1543 por AGAUR) y al proyecto financiada por la Dirección General de Investigación, Ministerio de Educación y Ciencia (EDU2015-66643-C2-1-P)

BIBLIOGRAFÍA

Adúriz-Bravo, A. y Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, número especial 1, 40-49.

American Geophysical Union (1997). "Shaping the future of Undergraduate Earth Science Education, Innovation and Change Using an Earth System Approach". AGU. Washington, pp. 1-35.

Bach, J., Brusí, D. y Domingo, M., (1988). Consideraciones en torno a la didáctica de los procesos geológicos. *Henares, Rev. Geol*, 2, 213-222.

Bach J., Correig, T., Grau, R., De Manuel, J. y Tejero, F. (1998). Propuesta de actividades en Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente: trabajando gradientes ambientales con isolinéas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6.1, 79-88.

Bach, J. (2001). Los recursos hídricos y el sistema cuenca. *Alambique*, 27, 69-80.

Bach, J. (2008). El riesgo de inundación: una propuesta de tratamiento. *Alambique*, 55, 43-55.

Buckley, B. C. y Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. En J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 119-135). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

Cañal, P., Pozuelos, F. y Travé, G. (2005). *Descripción General y fundamentos Proyecto Curricular INM (6-12)*, Díada, Sevilla.

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

Gilbert, J.K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (2), 115-130.

Harlen, W. (2010). Principios y grandes ideas de la educación en ciencias. Gosport, Hants, UK. Versión disponible en www.innovec.org.mx

Izquierdo, M., Espinet, M., García, P., Pujol, R.M., y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*. número extra, 79-91.

Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27-43.

Jenkins, E. W. y Nelson, N. W. (2005). Important but not for me: students attitudes towards secondary science in England. *Research in Science & Technological Education*, 23(1), 41-57.

Márquez, C. y Artès, M. (2016). Propuesta de análisis de representaciones sobre el modelo cambio geológico del alumnado del grado de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24 (2), 169-181.

Morin, E. (1977). *La méthode I: La nature de la nature*. París: Editions du Seuil. (Trad. cast. El Método I: La naturaleza de la naturaleza. Madrid. Cátedra, 1987).

NGSS Lead States. (2013). Next Generation Science Standards: For States. Washington. D.C.

NSF -National Science Foundation-. (2009). Earth Science Literacy Initiative (ESLI). <http://www.earthscieliteracy.org/>

Pascual, J.A. (2013). La Tierra como sistema. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Pedrinaci, E. (2001). Cómo funciona la Tierra: una perspectiva sistémica. *Alambique*. 27, 47-57.

Pedrinaci, E. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la geología. En *Enseñar Ciencias*, M. P. Jiménez Aleixandre. Ed. Graó. Barcelona.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusí, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 130-138. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 25 de enero de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 15 de septiembre de 2017.