

CONSIDERACIONES EN TORNO A LA DIDACTICA
DE LOS PROCESOS GEOLOGICOS

Joan Bach i Plaza (*) (**)

David Brusi i Belmonte (*) (**) (***)

Montse Domingo Maroto (*) (**)

(*) Departament de Geologia. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA.

(**) Escola de Mestres "Sant Cugat". UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA.

(***) Col.legi Universitari de Girona. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA.

RESUMEN

Los procesos geológicos constituyen una constante en la dinámica del planeta desde su origen. Es a través de ellos que el ser humano va adquiriendo la idea de que habita en un mundo cambiante. Si miramos en cualquier dirección de nuestro entorno podremos, sin duda, identificar procesos actuantes: unas rocas caen en el acantilado, el río meandrea en el valle, o las olas barren la playa, ya que los procesos geológicos están presentes en la vida cotidiana.

En las programaciones de E.G.B. se han tratado y siguen tratándose a menudo desde el enfoque de las Ciencias Sociales. Sin desmerecer esta óptica, se hace necesaria una reflexión desde la Geología sobre los conceptos fundamentales que intervienen y las dificultades existentes en su aprendizaje.

ABSTRACT

Geological processes are a constant fact in the dynamics of our planet from its beginning. Through them, human beings construct the idea of inhabiting a changing world. Looking about us, we can easily identify processes in action, like rocks falling from de cliff, river meandering in the valley or waves sweeping the beach, because geological processes are present in our daily life.

In scholar curricula, geological processes have been worked, and yet today they are being worked, form the point of view of the Social Sciences. This view is as worthy as any other one, but it can be necessary to think over them from the geological point of view.

INTRODUCCION

* Interés del tema

Los procesos geológicos constituyen una constante en la dinámica del planeta desde su origen. Desde que el ser humano los presencia, la Tierra lo ha maravillado en la magnificencia de las erupciones volcánicas, lo ha empavorecido con el terremoto o lo ha estremecido con las aguas desbordadas de una inundación.

A través de la percepción de los procesos el ser humano ha ido construyendo la idea de que su morada es un mundo cambiante, a cuyos ritmos hay que someterse. Algunos cambios bruscos que le son adversos los ha interpretado sucesivamente bajo concepciones que han evolucionado desde la consideración de castigos divinos, presente en todas las mitologías, hasta la aceptación de catástrofe natural televisiva. Otros cambios más lentos, de los que se percata en menor medida, le resultan favorables,

ya que le generan un suelo cultivable o le modelan el litoral donde disfrutará de sus vacaciones. Pero muchos procesos geológicos le son tan cotidianos que se le aparecen como ingredientes estáticos, como parte inerte fija del paisaje: en un río, una playa o la barandilla del balcón difícilmente se identifica un ejemplo caro de los flujos de materia y energía que representan.

Observando a nuestro alrededor, por doquier podremos identificar procesos en acción: la gravedad despeña rocas, en el acantilado, el río meandrea en la llanura, las olas barren la playa. Pero a la vez nos percatamos de que muchos de ellos experimentan tales variaciones o discontinuidades espaciales que éstas permiten clasificar los lugares en áreas de mayor o menor sismicidad, en zonas con glaciares y desprovistas de ellos o en campos de

dunas que se desplazan con el viento.

Hoy a cada proci6n del territorio le son propios unos procesos y a cada escala geográfica es posible reconocer diversos agentes, detectar ciertas jerarquías e incluso establecer cuáles son dominantes. Por ejemplo, son propios de Cataluña algunos procesos litorales activos en la faja costera, aunque en ella también se producen otros; por el contrario, no le son característicos la mayoría de los procesos glaciares, ya que sólo algunos de ellos funcionan en áreas reducidas de alta montaña.

Sin embargo, para cada punto del territorio, tal vez en otro momento las cosas han sido distintas. El **paso del tiempo** es, pues, otra componente que a la vez que añade complejidad hace más atractivo el análisis del tema. En un determinado territorio vivimos algunos procesos mientras que otros nos resultan muy remotos, y no albergamos expectativas de poderlos observar allí en acción durante el tiempo que dure nuestra vida o en un futuro posterior próximo; así ocurre por ejemplo con los procesos que afectaron a nuestro entorno durante el largo período glacial comprendido entre hace un millón y medio y quince mil años. En esta perspectiva, la interpretación de los procesos del territorio adquiere entonces un carácter, de **sucesión histórica**, de secuencia única e irrepetible.

También el factor tiempo se manifiesta en **ritmos y cadencias**. Terremotos o desprendimientos, por una parte, como generadores de fuertes cambios bruscos en la superficie del planeta, y la acción erosiva de un torrente o el crecimiento coralino de un atolón, por otra parte, que modifican con menor intensidad o velocidad, comparten el tener una escala de tiempo que permite que su funcionamiento o la secuencia de sus efectos se hagan patentes al observador a lo largo de su vida. Otros procesos, en cambio, resultan imperceptibles, debido a su lentitud, como la fragmentación continental y la formación de un océano maduro, ya que su escala temporal se mide en millones de años, es propia de la geología.

Los procesos geológicos, como los de cualquier otro tipo, conllevan entradas y **modificaciones de energía que promueven cambios** en el estado de la materia. Minerales y rocas, experimentan cambios físicos y químicos en su estructura tanto a escala atómica, molecular, cristalina, como a escalas mayores, por ejemplo las de afloramiento o de una cordillera.

Dado que cualquier proceso constituye punto de confluencia de muchos factores que interactúan, su interés como objeto de estudio radica en la versatilidad que aporta para trabajar conceptos científicos como los de sistema, interacción o ciclo y en que su caracterización ayuda a **concebir el mundo bajo una visión dinámica e integrada**

y a descubrir relaciones entre fenómenos. La identificación de los agentes causantes de las fuentes de energía y de los mecanismos de cambio hace patente la conexión entre las distintas ramas de la ciencia.

* Los procesos geológicos en el marco de la ciencia

Si partimos con Toulmin (1972), de la idea de que lo que distingue una ciencia de otra es el tipo de preguntas que se formulan sobre sus objetos de estudio, una simple roca puede convertirse en la protagonista de múltiples intervius. Puede hablarnos de su composición, su estructura molecular o atómica, su potencial químico para sustentar vida, su génesis y las vicisitudes de su historia, todo ello desde disciplinas tan diversas como la química, la física, la biología o la geología.

Algunas ciencias hallan respuesta susceptibles de generalizarse y formularse como principios o leyes universales. Si las leyes de la física pretenden explicar uniformidades del universo y en cambio las de la química dan cuenta más bien de la diversidad y las peculiaridades, a través de las diferencias bajo las que se presenta la materia, la geología se fundamenta en la observación tanto de las semejanzas como de las diferencias materiales; pero las variaciones ligadas a los cambios de escala de espacio y tiempo, y muy especialmente los efectos acumulativos e irreversibles del paso del tiempo, dificultan la generalización espacial y temporal y por consiguiente el establecimiento de modelos de validez universal.

Al desentrañar la historia pasada y tratar de predecir el futuro, la geología describe procesos y pretende lograr una aproximación (siempre algo forzada) a un medio natural complejo y cambiante. El actualismo, uno de los pocos principios fundamentales del análisis geológico, según el cual el presente es la clave del pasado, estimula a **buscar entre los procesos que hoy funcionan las claves de los procesos del pasado**. Así pues, en la diversidad geográfica actual se hallan tanto la información sobre lo vivo y funcional como el modelo en que fundamentar la interpretación del pasado.

El conocimiento acumulado sobre la tierra que hoy llamamos geología se convirtió históricamente en ciencia al **superarse la etapa de mera descripción de elementos aislados e interpretación fantástica de conexiones** para adentrarse en la mejor caracterización de las conexiones probadas y las secuencias visibles entre los objetos y los fenómenos. La evolución en el conocimiento geológico ha sido desigual y azarosa, pero muchos de los hitos se han alcanzado mediante investiga-

ciones vinculadas al uso de rocas y minerales como materias primas, a la realización de obras públicas, a la explicación e intentos de modificación de catástrofes naturales, a la exploración de tierras y mares como territorios a ocupar, explotar y dominar. La **comprensión** que hoy tenemos de los procesos geológicos y la **interpretación** que de ellos hacemos son las que la historia ha hecho posibles hasta el presente y cabe esperar que ambas **cambien en el futuro**.

* El tema en la escuela

Algunos de los procesos geológicos con los que los estudiantes pueden estar familiarizados se contemplan en las programaciones escolares. Sin embargo en muchos casos su tratamiento se enfoca desde **ópticas meramente estáticas**, como la descripción de vistas fijas o de naturalezas muertas. Y, además, a menudo, aspectos parciales de los procesos geológicos están incluidos en las programaciones bajo las temáticas de **disciplinas diferentes** a la geología, en especial de ciencias sociales, por cuanto el eje argumental que interesa destacar no es tanto el proceso geológico en sí, sino en que medida sus resultados sirven a la comunidad humana o se relacionan con ella. Bajo la vaga idea de "medio natural", naturalistas y geógrafos hacen incursiones al ámbito geológico (rocas, pliegues, orogénesis, ...) para emplazar en él las comunidades vegetales, animales y humanas.

Los geólogos debemos incidir en el tratamiento de los procesos geológicos en la escuela puntualizando respecto a algunos enfoques. En primer lugar, llamar la atención sobre el hecho de que cualquier "geoforma" de postal aparentemente estática, cualquier paisaje es la resultante de una **dinámica** transcurrida a lo largo de una historia, la cual debidamente interpretada ha de ayudar a **predecir** nuevas formas futuras aparentemente "estáticas"; es decir, hay que transmitir la idea de que estamos trabajando con instantáneas de un continuo movimiento, con diapositivas o tomas de una película de acción con argumento. La idea de que el planeta está experimentando cambios nos invade a diario por medios diferentes y a la geología le corresponde su propio cupo; por consiguiente, hay que sintonizar con la corriente moderna de dinamismo, y oponerse a la congelación y petrificación de las imágenes geológicas.

En segundo lugar, hay que reivindicar el derecho a estudiar y comprender los **procesos geológicos en sí mismos** y no sólo como subsidiarios, o como sustento de otros procesos, naturales o sociales, y ello a cualquier edad y nivel de escolarización, mediante las adaptaciones correspondientes. El estudiante ha de construirse una idea sobre el medio en la que las preguntas sobre su funcionamiento se hagan con diversidad de objetivos desde todas las ramas de la

ciencia. Los procesos geológicos serán preguntas tan interesantes a responder, planteadas desde la geología, como lo pueden ser otras preguntas sobre el medio hechas desde la geografía, la física, la química, la biología,...

Una de las ventajas que ofrece la docencia sobre procesos respecto a la de cuerpos y formas estáticos es lo atractivo que aquéllos pueden resultar en tanto que **sucesos cuya evolución en el tiempo puede narrarse**. Esta propiedad de ser narrados a menudo se hace extensiva de los procesos a ciertos cuerpos, como un fósil, una roca o una forma de relieve, y así se logra narrar atractivas historias que estimulan el aprendizaje. Con todo, conviene velar por un uso sin abuso de este subterfugio, ya que cada tema exige su planteamiento y tratamiento científico, la formulación de hipótesis, la observación, la predicción,...

Otro enfoque por el que luchar es el de buscar ejemplos de los procesos geológicos en las **manifestaciones en nuestro entorno de fenómenos corrientes**, habituales, de nuestra vida cotidiana, así como experimentar para observar respuestas a cambios inducidos, **modelizar**, seleccionando factores y priorizando su representación, y finalmente, con la ayuda de los modelos y simplificaciones, tratar de **extrapolar** y, con cautela, generalizar algunas conclusiones.

PROFUNDIZAR EN LOS CONCEPTOS

* Los cambios en la corteza terrestre

Un proceso geológico supone la puesta en funcionamiento de una serie de fenómenos, estados y formas por los que pasa una parte de la Tierra que conllevan la continua y progresiva transformación de ésta. Transformar significa cambiar, hacer devenir diferente, lo que consiste en sustituir o reemplazar una forma o un estado de la materia por otras formas o estados y, por consiguiente, un **dinamismo** generado por intervención de energía.

En la mayoría de procesos geológicos no podremos seguir de cabo a rabo la transformación, bien sea porque su lentitud rebasa la posibilidad de percepción comprendida en una vida humana o bien porque su localización en el espacio desborda el ámbito de observación de una o pocas personas coordinadas. Casi siempre habrá que estudiar un proceso a partir de las **evidencias** que quedan **tras el cambio** ya efectuado. Así pues, como los buenos detectives que reconstruyen la historia después de los hechos, los estudiantes deberán aprender a descifrar los cambios a partir de la materia ya cambiada que pueden observar e investigar, deberán plantear hipótesis a partir de los indicios. Pero algunos

ejemplos dinámicos ayudarán a adquirir la noción del proceso: el movimiento de la arena en playas y dunas, los cambios en los márgenes y aguas de un torrente o un volcán en erupción ciertamente revelan el proceso, y no sólo la materia cambiada.

La transformación ocasionada por un proceso geológico a menudo podemos concebirla como la actuación de un cuerpo material que, en respuesta a una entrada de energía, se convierte en causa activa de cambios de la Tierra y, tiene la facultad o poder para producir o causar algún efecto. Entre tales cuerpos activos, llamados **agentes geológicos**, podemos mencionar, por ejemplo, el agua, el viento, el ser humano...

En las transformaciones se producen acciones o influencias mutuas, recíprocas, entre las diferentes partes implicadas. Se llaman **interacciones** los estímulos y las reacciones que unos estados y formas de la materia ejercen en otras gracias a la intervención de energía.

Por otro lado, algunas situaciones de conjunto determinan que las mismas fuentes de energía (solar, gravitacional,...) y los mismos agentes (agua) den resultados diferentes porque existen otros **factores condicionales** (en este caso el clima), que inciden en la proporción concreta en que la energía y los agentes actúan en los cambios, como ocurre, por ejemplo, en las diferencias entre un río tropical y uno mediterráneo.

Así pues, formas de energía, agentes de cambio, factores de contexto y estados y formas de la materia, tanto anteriores como posteriores a las transformaciones, quedan entrelazados a través de relaciones múltiples que nos remiten a la **idea de sistema**, como conjunto de elementos naturales relacionados entre sí o interdependientes por los que se mueve materia y energía más o menos continuamente en un flujo que sigue trayectorias interconectadas.

Puesto que la Tierra es un sistema, los procesos geológicos podemos analizarlos tratando de desvelar en cada caso cuáles son las fuentes de energía, los agentes de cambio, los factores condicionantes, los elementos que cambian, las interacciones y las relaciones de todo el conjunto.

Exceptuando los meteoritos y las naves espaciales, la Tierra ni gana ni pierde materia. Respecto a la materia puede considerarse un sistema cerrado. Por el contrario, es un sistema abierto en cuanto a la entrada de energía, recibida ininterrumpidamente desde el Sol y distribuida en el planeta según zonas de latitud.

Esta concepción de sistema cerrado conduce a la **idea de ciclo**. Llamamos ciclos de la materia a la serie de fases y de cambios efectuados según una sucesión ordena-

da, mediante la cual un mecanismo, una sustancia o un sistema son obligados, periódicamente o no, a regresar a sus condiciones iniciales. Los procesos geológicos actúan sobre una materia que es limitada, no sale ni entra del planeta y es trabajada reiteradamente por agentes geológicos. En este sentido nos referimos al ciclo del agua, el ciclo de las rocas o el ciclo de los continentes y océanos, por ejemplo.

Por consiguiente, enfocaremos el estudio de los procesos geológicos con voluntad de destacar los aspectos dinámicos, de cambio, de descubrir las secuencias y las relaciones que hacen posibles los ciclos y los reciclajes, tratando de hallar explicaciones en las fuerzas físicas y químicas y ensayando el situar en el tiempo y el espacio la historia de algunos de dichos cambios. De las explicaciones a las que se apeló en la Antigüedad, como la intervención de dioses y fuerzas sobre naturales en relación a volcanes y terremotos, por ejemplo, retendremos sólo la idea de energía y agentes, si bien pueden usarse además como ilustración de las dificultades para la comprensión y la representación visual inherentes a muchos procesos geológicos. Las llamadas catástrofes las consideraremos procesos que pueden analizarse en términos de materia y energía y, en ciertos casos, incluso predecirse y prevenirse.

Una vía para abordar el estudio de los procesos geológicos es la que toma como criterio de clasificación y de partida la situación respecto a la Tierra de las dos grandes **fuentes de energía** que los impulsan: una interna, a grandes rasgos resultante de la desintegración de los elementos radiactivos, y otra externa, procedente del Sol. Sin embargo en ambos casos desempeña un papel condicionante la gravedad terrestre y, en menor medida los efectos de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol. En consecuencia, para comprender los fenómenos geológicos habrá que jugar además con conceptos tales como densidad, energía potencial y cinética, convección, flotación, peso, presión, etc.

No obstante, este enfoque en función de la **localización** de la fuente principal de energía no debe hacernos olvidar que el resultado de la acción de los procesos internos no es independiente de la acción de los externos. Y viceversa. Aunque la entrada de energía solar es independiente de la llegada a la superficie terrestre de la energía interna, los procesos que una fuente desencadena interactúan de forma compleja con los de la otra y se concretan de modo diferentes en cada caso y lugar.

* Procesos internos

La acción conjunta de la energía

almacenada en el interior de la Tierra y la fuerza de la gravedad se manifiesta en la superficie terrestre, bien sea por movimientos de ésta perceptibles a escala humana como los terremotos o, en la mayoría de los casos, visibles sólo en la estructura de los materiales (cordilleras, pliegues, fallas,...) o bien generalizando nuevas rocas, a través de la fusión como actividad magmática (rocas plutónicas, volcánicas,...) o por transformación de las rocas preexistentes, como actividad metamórfica.

La función de **agente geológico** en los procesos internos la desempeña el propio conjunto material interior en reajuste continuo, que actúa y es impulsado y modificado por energía térmica y/o mecánica, en ausencia de agentes especializados propios del dominio externo, como los seres vivos, los atmosféricos, los cursos de agua o de hielo libres. Así, por ejemplo, el agente de un terremoto serán las rocas que liberan energía elástica acumulada e inician la transmisión de ondas sísmicas. Las conjeturas sobre agentes internos diferenciados podemos referirlas genéricamente a gases, líquidos, sólidos plásticos y sólidos elásticos, así como a la combinación entre ellos. Por ejemplo, el ensanchamiento de conductos volcánicos desde una cámara magmática se considera un proceso de fluidización, en el que los agentes son los líquidos a presión, mezclados con abundantes gases.

Entre los **factores condicionantes** de los procesos internos, uno fundamental es la presión litostática, por cuanto cualquier cambio de profundidad, de porosidad de los materiales o la apertura de conductos que comunican niveles con el exterior desena energéticos reajustes, modifica los tipos de deformación, etc.

Algunos de los **movimientos resultantes** de los procesos internos son de componente principal vertical y se relacionan con la distribución por densidades de los materiales. Los epigénicos y sus casos especiales debidos a reajuste isostático se explican por la fluencia de materiales plásticos que regula la altura de masas rocosas. La sobrecarga y la liberación de carga provocan el hundimiento y el rebote de recuperación que explican fenómenos como la elevación de la península Escandinava tras la fusión del hielo soportado durante la última glaciación.

Otros movimientos debidos a procesos internos son los desplazamientos de componente fundamental horizontal, aunque no del todo exentos de componente vertical, que hoy se explican mediante la teoría de la tectónica de placas.

La combinación entre ascenso vertical de materiales del manto y movimiento horizontal de las placas litosféricas se traduce en superficies de adelgazamiento y abovedamiento, seguidas de fracturación

por fallas. En todo ello a través de procesos sísmicos y volcánicos. La deformación que generan los procesos internos se expresa a todas las escalas espaciales, desde la malla cristalina hasta la cordillera o un continente entero, con manifestaciones diferentes según los esfuerzos que predominen (de compresión o distensión) y según la intensidad, duración y localización de dichos esfuerzos, entre muchos otros factores de influencia aún poco bien caracterizada.

Si el acento se quiere poner en la **causa de la diferencia** entre rocas transformadas y generadas por procesos internos, es interesante considerar las condiciones reinantes y los factores condicionantes. Profundidad y velocidad de enfriamiento, composición química, estado físico de la materia o mezcla de estados sólido, líquido y gaseoso son elementos a los que referirse a la hora de reflexionar sobre un plutón granítico, una erupción volcánica o una formación plegada y metamorfizada.

* Procesos externos

Los procesos externos se generan a partir de la acción conjunta de las fuerzas originadas por la **desigual distribución de la energía solar** sobre la superficie terrestre traspasada a las capas fluidas, y la fuerza de la **gravedad**. La variación según el lugar y la época del año desencadena una serie de procesos diferenciados en la superficie.

Ya que por definición asignamos el calificativo de externos a los procesos localizados en la superficie, esta propia localización implica que ellos se deben a **interacción entre atmósfera, hidrosfera, biosfera y litosfera**. A la atmósfera, como parte fluida, le corresponde un importante papel como reguladora de la entrada y retención de energía solar; comparte con la hidrosfera la función redistribuidora de la energía térmica almacenada. Ambas esferas fluidas dan lugar a la mayoría de **agentes geológicos externos**.

En consecuencia, se requiere conocer los rasgos característicos de la atmósfera, que permiten hacer un balance energético, y su dinámica, los fenómenos meteorológicos y climáticos, como **factores condicionantes** de la medida o proporción en que podrán actuar los diferentes agentes.

La superficie terrestre se halla en unas condiciones termodinámicas tan especiales que en ella **el agua** es capaz de aparecer bajo tres fases de la materia, sólida, líquida y gaseosa. Si bien un promedio del 97,5% de ella está líquida constituyendo la hidrosfera, en el pasado esta proporción ha cambiado reiteradamente y siempre ha existido y existe un flujo continuo entre los tres estados y una circu-

lación aérea, superficial y subterránea que da lugar al llamado ciclo del agua. El agua será, en consecuencia, uno de los agentes externos principales, el más omnipresente, más activo y participante en la máxima diversidad de procesos.

A caballo entre la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera se desarrolla la biosfera como **envoltura de vida** también generadora de procesos. La litosfera como parte sólida es el campo de actuación de los procesos geológicos y sede de la mayoría de cambios y transformaciones observables; aporta sus rocas como **material a procesar** y sus partículas sueltas como **herramientas** para el procesamiento de sus rocas.

De los agentes que dan lugar a **procesos externos**, algunos producen cambios que conllevan un **traslado de materia ostensible**, como ocurre con los transportes inducidos por el agua, el hielo, el viento, los seres vivos, la comunidad humana. Por otro lado, algunos de ellos trabajan a unas escalas tales de espacio o de tiempo que su funcionamiento nos resulta **imperceptible** y sólo a posteriori detectamos los efectos, como los que configuran la meteorización: disolución, hidrólisis,...

Para simplificar suelen considerarse los procesos externos como vinculados especialmente a un **solo agente** que, junto con la gravedad, ejerce la acción preponderante. Se habla de procesos eólicos, glaciales, acuáticos, bióticos, antrópicos o gravitacionales según que el agente dominante sea el viento, el hielo, el agua, los seres vivos, el ser humano, o la sola gravedad. La **diversidad de actuaciones** de cada agente permite subdividir los grupos anteriores en grupos menores, distinguiendo, por ejemplo, la acción del hielo en un glaciar de la que realiza en un suelo permanentemente helado o en uno sujeto a alternancias de fusión/congelación, o diferenciando en el agua la acción de una gota de lluvia de la conjunta de toda la masa oceánica, de la de un río, un torrente, el oleaje, etc. Si el acento se pone en la **localización específica**, cabe hablar de procesos litorales, de vertiente, de lecho fluvial, etc.

El **resultado** de estos procesos externos es la erosión, el transporte y la sedimentación que conllevan el modelado de la litosfera, tanto por sedimentarias, y en cada caso se puede hablar de procesos erosivos o sedimentarios según el efecto que resulte predominante.

DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE

En el aprendizaje de los procesos geológicos conviene considerar diversas dificultades específicas, además de las genéricas de la geología, o de las ciencias en sentido amplio. Entre las más evidentes destacan:

* La idea de sistema y la multiplicidad de factores interactivos

Un sistema es un marco de referencia cuyos límites fija cada interesado subjetivamente con el fin de analizar algún proceso dominante o ciertos vínculos entre materia y energía. Tanto los elementos del sistema como las relaciones entre ellos quedan condicionados al marco general que se defina. Así, por ejemplo, los cantos rodados del lecho de un río podemos analizarlos como integrantes del sistema o proceso fluvial, pero ¿por qué no imaginar que permanecen estáticos en la orilla y sometidos a meteorización o, contrariamente, verlos dinámicos en un proceso gravitacional o, ampliando el marco, concebirlos como fragmentos erosionados desde un relieve mediante procesos de vertiente?

Si bien se suele primar un proceso dominante a la hora de definir un sistema, y se habla de procesos fluviales, litorales, sísmicos o volcánicos, el preciso concebir los **sistemas como punto de encuentro de múltiples factores que interactúan**, que a menudo habrá que procesar o tener en mente simultáneamente.

* El espacio y el tiempo en geología

En los procesos geológicos la **escala espacial de referencia** es tan **variada** que la gama se extiende desde la molecular a la planetaria, incluidas la microscópica, la visual, la regional,...

Continuamente hay que ayudarse con un hipotético "zoom" para facilitar la construcción de los conceptos, lo que puede generar confusiones. Por ejemplo, para seguir argumentalmente el proceso de transporte de materiales por un valle fluvial quizá convenga en primer lugar, detectarlos en el curso fluvial y luego descubrir a escala regional los puntos de la cuenca de los que pueden haber sido extraídos. Pero ¿cómo podemos establecer cuál ha sido el proceso por el que se han incorporado al flujo de agua? A escala visual observamos una fragmentación de las rocas de las vertientes, pero ésta es debida a una meteorización física, química, de una escala espacial mucho menor. La argumentación del transporte ha quedado cortada por la de la meteorización y por problemas de cambio de escala. Si retornamos al flujo del río y argumentamos el transporte hacia el mar, donde se sedimentarán los materiales, tropezaremos con el agua marina, tan salada, que nos obligará a regresar a la escala molecular para seguir la pista de los iones que viajaron en disolución.

El factor tiempo agrega complejidad. A la variabilidad de escalas espaciales hay que agregar la diversidad de escalas temporales. Para un único espacio ya resulta

complicado su **evolución en un tiempo dado**, pero mucho más complicado es todavía considerar para él diversos **episodios de duración variada**, algunos de los cuales corresponden a intervalos que rebasan el tiempo de vida de una persona o de la historia de toda la civilización. Así, si un "zoom" espacial es más o menos evidente, un "zoom" temporal, se vuelve esquivo y difícil de aprehender.

La teoría de las placas lo acaba de complicar en la medida en que propugna el movimiento, prácticamente simultáneamente de todos los puntos de la superficiales del planeta, probablemente mantenido a lo largo de los últimos 700 millones de años por lo menos. Tal vez uno de los pilares que sostendrá la construcción correcta y significativa de conceptos en el aprendizaje de los procesos geológicos será una **adecuada comprensión de los "geosistemas"**. Estos se pueden concebir como marcos teóricos o como ámbitos geográficos concretos dinámicos donde los fenómenos son tan variados que se producen en escalas de espacio y escalas de tiempo de muy diversos órdenes de magnitud.

* Existencia de concepciones erróneas

En geología, las concepciones erróneas de los estudiantes reflejan concepciones erróneas de adultos aceptadas y muy arraigadas socialmente. Es decir, son verdaderas interpretaciones y no simples afirmaciones espontáneas de escaso nivel de aprendizaje. Un ejemplo típico es el de los fósiles marinos de las montañas, que suele explicarse diciendo que "hace muchos años el mar cubría estas montañas". Por ello, tranquilamente se sube y se baja el nivel de los océanos hasta 3000 metros si hace falta (¿de dónde saldría el agua necesaria?) o se hace oscilar el nivel de los continentes para obtener el mismo resultado y cubrir superficialmente los relieves. Está muy poco asumida la interpretación correcta que explica las rocas sedimentarias como materiales de acumulación o precipitación (con posibles inclusiones de residuos orgánicos) generados en un medio acuoso y consolidados lentamente, que por movimientos tectónicos y erosión pueden alcanzar la posición elevada donde nos hallamos.

Abundan la interpretaciones catastrofistas de los procesos que históricamente crearon doctrina y que explican la mayoría de cambios en el planeta como acontecimientos calamitosos, al margen de toda ley natural y de cualquier previsión. Todavía se explica el "Diluvio" como inundación "universal", sin tener en cuenta que un exceso de precipitación en un punto del planeta procede de la condensación de un vapor de agua previamente evaporado y que es imposible sumergir el mundo entero bajo las aguas si comprendemos este equilibrio. A veces las secuelas en la sociedad actual de estas interpretaciones conducen a sectores sociales a recla-

mar que se declaren zonas "catastróficas" ciertos territorios reiteradamente sometidos al impacto de algún proceso intenso (inundación, terremoto,...) a pesar de que existen previsiones, valoraciones e incluso cartografías que los definen claramente como áreas de previsible afectación.

Por lo que respecta al agua, penetramos en un mundo mítico, casi tenebroso. Por ejemplo, se concibe un río como una cañería, como un flujo lineal y superficial de agua, y casi nunca como lo que realmente es: una intersección de un nivel subterráneo totalmente saturado de agua con la superficie del terreno. Y si hablamos de aguas subterráneas, tal vez salgan a escena los métodos de búsqueda de las ramas de olivo o del péndulo como si de exorcismo se tratara, y no de problemas geométricos de localización de una capa que actúa como acuífero.

El aprendizaje sobre aspectos geológicos que parta contaminado por preconceptos erróneos deberá plantearse desde la **detección** de éstos y a través del **seguimiento histórico y experimental** que ha hecho posible el cambio interpretativo, y no desde la simple proclamación de la definición actual de un fenómeno.

* La tipología de la ejemplificación

Las dificultades para comprender clara y precisamente un concepto o el escaso dominio de la geología regional entre quienes impartimos la docencia limitan mucho el **abanico de ejemplos** de procesos. A menudo suplimos esta escasez de oferta con ejemplos "de libro", pero estos por su condición de no vividos, son trasladados y recibidos con menor entusiasmo que los conocidos a través de vivencias. El abuso de esta táctica lleva a veces a apoyar cada tema con documentos lejanos y resulta raro que la erosión y la sedimentación fluviales se ejemplifiquen con el Cañon del Colorado, en lugar de traer a colación el arroyo que atraviesa el pueblo o de seguir la formación de meandros en el patio de la escuela el día que el chaparrón a impedido jugar.

La geología y sus procesos tienen en los ejemplos los elementos de **analogía** y **modelización**, la concreción que sirve de **contrapunto dialéctico a la teoría** para adquirir los conceptos. Conviene, pues, brindarlos en abundancia y diversidad. Para **estimular los elementos subjetivos** que aportan "significado para el alumno", entre los ejemplos deben abundar los más cotidianos y próximos a los estudiantes, y éstos permitirán la ampliación progresiva hacia los más distantes.

* El tratamiento terminológico

El uso y abuso de una jerga nueva

ligada al estudio de los procesos geológicos suele conllevar diversos tipos de problemas. Algunos guardan relación con confusiones que se producen a causa de las **acepciones diversas** de una misma palabra; otros se refieren a la **complejidad conceptual** que encierra un término exclusivamente científico; otros problemas se derivan del **uso precoz** de palabras nuevas como términos supuestamente asimilados cuando la brevedad del tiempo de asimilación desde la introducción de las mismas no ha permitido aún una incorporación al lenguaje científico del estudiante, problema que se magnifica hasta desbordarse cuando ello ocurre con muchas palabras nuevas, como si se tratara de un empacho resultante de un atracón y mala digestión; en ocasiones se pierde de vista que lo importante es el **equilibrio entre ideas o contenidos y palabras para expresarlos**, ya que tan malo puede resultar el defecto como el exceso de unos con relación a otras.

Ejemplos de estas categorías de problemas, son, en primer caso, las acepciones, versatilidad y matices de términos tales como corteza, montaña, placa, falla, corriente, rambla, suelo. Ejemplos de complejidad conceptual científica son meteorización, orogenia, geosinclinal, magma. Evidencias de la necesidad del equilibrio conceptos/términos y del avance conjunto en ambos campos los obtenemos en el mutismo o la pobreza descriptiva cuando retamos a los alumnos a que expliquen con nombres y adjetivos lo que observan al salir al campo: las limitaciones de argot geológico, como las de zoológico o botánico, se pueden ir paliando para que una arenisca sea algo más que una piedra y un roble algo más que un árbol. Tampoco podemos caer en el absurdo de tratar los aspectos relacionados con los procesos como un recital de palabras nuevas, como una **lista de conceptos bautizados y definidos**; para trabajar los procesos litorales, por ejemplo, no basta decir qué son un cabo, una playa, unas olas, unas mareas y unas corrientes, sino que ante todo hay que hablar de unos mecanismos de erosión y sedimentación y de unos flujos de energía que modelan esas formas.

* Tratamiento cualitativo y poco cuantitativo

Un riesgo que siempre amenaza al tratamiento de los procesos geológicos es la falta de cuantificación. Tan importante o más que el hilo que argumenta y adjetiva un concepto es la **noción de las magnitudes**, el **marco de escalas** que permita la comparación y la valoración de la importancia de un hecho observado. Por ejemplo, del caudal propio de un curso de agua depende que este sea un arroyo, un torrente, un río. En pocos casos conocemos órdenes de magnitud de referencia que nos permitan discernir significativamente la trascendencia de 1, 10 ó 100 metros cúbicos por segundo. Para que la cuantificación resulte significativa hay

que basarla en la experimentación, y no tratarla sólo verbalmente como otro concepto más.

La inexistencia de cuantificación puede llegar a incidir en el programa o en los libros de texto. Dificulta el **valorar el peso relativo de un proceso en comparación con otros allí donde vivimos**, y nos induce a dedicar más esfuerzos de los recomendados a procesos eólicos o glaciales, por ejemplo, ya que fundamentalmente son los fluviales y de vertiente los de mayor protagonismo en nuestras lares.

* La escasa manipulación y las dificultades para la modelización

Por definición los procesos implican dinámica, con lo cual las representaciones estáticas de un proceso suelen resultar poco ilustrativas. Una duna, un glaciar, una playa aparecen excesivamente inmóviles en las fotografías de un libro e incluso con una maqueta. Conviene complementar estos recursos con **imágenes dinámicas** desde la observación y la manipulación.

Pero en la **modelización de la realidad** por lo que respecta a los procesos geológicos topamos con limitaciones de índole diversa. La complejidad de la realidad, sus escalas de espacio y muy especialmente las escalas de tiempo, con la diversidad que combina fenómenos de cadencias cortas y muy largas, constituyen algunas de las dificultades con que se tropieza a la hora de reflejar en un único modelo todos los ingredientes que intervienen.

Algunos fenómenos de cadencia muy larga, como una orogenia o una erosión fluvial pueden modelizarse introduciendo **aceleraciones** con vídeo o cine. Sin embargo, ni estas ni otras adaptaciones o reducciones deben vehicular a la vez conceptos erróneos.

Con todo, dado que el objeto de estudio es precisamente un medio natural, las limitaciones de manipulación y modelización pueden compensarse mediante **observación en el terreno**; en todas las salidas al campo conviene aprovechar en cada caso aquellos elementos de observación que permitan analizar la escala, la dinámica y la mecánica de los procesos.

* La simbología

Una peculiaridad de los estudios geológicos es la forma especial de representar la materia, su geometría, su dinámica, mediante símbolos estandarizados, una especie de **complicidad entre geólogos** que, al no ser compartida socialmente, ni siquiera por ningún otro grupo de científicos, no se usa en los niveles escolares y a menudo se introduce **sin previo aviso y dándola por sabida**. Conviene explicar,

entre otros aspectos, el uso de colores y tramas para representar materiales diferentes, su correcta disposición o los símbolos que representan una fuente o una falla.

BIBLIOGRAFIA

* PEDRINACI, E. (1987). "Representaciones

de los alumnos sobre los cambios geológicos". Investigación en la Escuela, nº 2, pp. 65-74.

* TOULMIN, S. (1972). "La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos". Alianza Universidad, Madrid,