

### **3. DIFICULTADES DE APRENDIZAJE: APORTACIONES DEDUCIDAS DE LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS SOBRE LA DINÁMICA TERRESTRE<sup>1</sup>**

Cualquier información que se le facilita a una persona, sea estudiante o profesor, es interpretada a la luz del conocimiento que posee, de manera que dos individuos con conocimientos, teorías o ideologías diferentes pueden entender un mismo mensaje, o una misma experiencia, de dos maneras diferentes.

Si esto es así, el conocimiento que un alumno ya posee desempeña un papel substancial en aquello que es capaz de aprender, y lo desempeña, tanto si dicho conocimiento coincide con la ciencia escolar que se le propone, cuanto si es diferente e incluso contrario a ella. Aunque tan influyentes son las ideas "correctas" como las "incorrectas", las que nos preocupan aquí son estas últimas en la medida en que pueden interferir en el aprendizaje y, en consecuencia, deberían ser consideradas al elaborar la propuesta didáctica.

#### ***3.1 Importancia y características de las ideas de los alumnos***

Seguramente, desde que existe la enseñanza todo profesor ha tenido ocasión de constatar que sus alumnos comenten errores conceptuales en sus respuestas a cuestiones y problemas. Tradicionalmente han sido interpretados como resultado de la ausencia de instrucción o como demostración de la escasa capacidad/esfuerzo del estudiante. Sin duda estas razones explican algunas de las respuestas desacertadas a los problemas que se les plantean, pero no otras. Y estas "otras" quizá merezcan que se les dedique cierta atención.

¿Qué ha hecho cambiar la valoración de determinados errores? Pues, por ejemplo, que algunos de ellos se mantienen tras muchos años de escolaridad y los presentan incluso alumnos que han obtenido excelentes calificaciones; o la constatación de que estudiantes formados en diferentes ambientes y en países distantes cometen los mismos "errores" en la interpretación de fenómenos científicos; o que algunas ideas del alumnado recuerdan a ciertas teorías antiguas. Todo ello llevó al convencimiento de que debía existir "algo común", en la construcción del conocimiento o en los métodos utilizados para acercarse a la realidad, que explicase las similitudes, que no parecían casuales sino causales.

En buena parte de los trabajos sobre ideas de los alumnos publicados en la segunda mitad de la década de los ochenta (ver por ej. Driver<sup>2</sup>) se tipificaban las características que presentan. Tales como su persistencia, coherencia interna, paralelismo con ideas que estuvieron vigentes a lo largo de la historia de la ciencia, etc. (cuadro 3.1, columna de la izquierda). Poco a poco, tras analizar algunas de estas ideas de los alumnos, se han ido introduciendo matizaciones, correcciones o limitaciones a esas "señas de identidad". Así, se ha indicado que, a veces, no sólo no son persistentes sino que incluso un mismo estudiante puede no utilizar la misma idea para resolver dos tareas similares que presenten alguna diferencia en su formulación, o que su conexión

---

<sup>1</sup> El texto que sigue es un resumen del libro: Pedrinaci, E. (2001): *Los procesos geológicos internos*. Ed. Síntesis. 222 páginas.

<sup>2</sup> Driver, R. 1986. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, pp 3-15.

con ideas vigentes a lo largo de la historia de la ciencia es muy lejana, etc. (cuadro 3.1, columna de la derecha).

Bajo algunas de estas limitaciones o correcciones subyace una crítica al escaso rigor metodológico (Pozo<sup>3</sup>) con que en ocasiones han sido realizadas las investigaciones, otorgando carácter de idea previa a respuestas sugeridas en la propia formulación de la tarea que se les plantea, o que obedecen a una falta de atención del estudiante al leer la pregunta o que no son más que una fabulación. No obstante, seleccionando aquellos trabajos que reúnen unos mínimos requisitos de validez y fiabilidad, puede igualmente confeccionarse con sus conclusiones las dos contradictorias columnas del cuadro 3.1.

Cuadro 3.1

*Dos perspectivas diferentes sobre las ideas de los estudiantes y sus características*

Son persistentes y no se modifican fácilmente con la enseñanza tradicional Tienen coherencia interna	Con frecuencia son construcciones momentáneas (a veces respuestas “ad hoc”, fabulaciones, etc.) Están integradas por elementos poco definidos y dispersos
Son comunes a estudiantes pertenecientes a diferentes ambientes socioculturales	Son poco consistentes y por tanto muy cambiantes
Muestran un paralelismo con ideas que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento	Su conexión con ideas vigentes a lo largo de la historia del pensamiento es muy lejana

Un panorama como éste puede generar desconcierto y ante él resulta casi inevitable preguntarse, en definitiva, si: ¿son o no son persistentes? ¿tienen o no tienen coherencia interna? ¿siguen o no una epistemología genética como parece sugerir su similitud con teorías históricas? ¿deben o no ser eliminadas? Probablemente no haya otra solución que responder: depende. En efecto, no parece correcto dar una respuesta general, aplicable a todo lo que viene denominándose “ideas previas” o “errores conceptuales” entre los cuales los hay con orígenes muy distintos y, consecuentemente, con grados de organización, coherencia y persistencia diferentes.

Con cierta frecuencia se ha llamado la atención acerca de la diversidad de términos utilizados para referirse a “lo que el alumno ya sabe”. Así, Giordan y Vecchi<sup>4</sup> dicen haber encontrado hasta 28 diferentes entre las cuales ellos prefieren “concepción” o “constructo”. Cada una de las denominaciones encierra una carga teórica específica y en conjunto implican perspectivas diferentes ante este fenómeno por lo que se ha urgido la conveniencia de ponerse de acuerdo en la denominación más adecuada.

En aras de la claridad y la precisión, resulta necesario que todos aquellos trabajos que compartan un marco teórico similar unifiquen los términos utilizados, pero conviene subrayar el hecho de que el problema fundamental quizá sea exactamente el contrario. Dicho con otras palabras el problema, con serlo, no es tanto que se estén manejando diferentes términos para referirse a lo mismo, sino que cada escuela o grupo de investigadores le está dando el mismo nombre a “cosas” diferentes.

<sup>3</sup> Pozo, J. I. (1993): *Psicología y Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza ¿concepciones alternativas? Infancia y Aprendizaje*, 62-63, 187-204.

<sup>4</sup> Giordan, A. y Vecchi, G. (1987): *Les orígenes du savoir*. Delachaux- Niestlé. Neuchâtel (trad. Martínez, A. *Los orígenes del saber*, 1988, Diada. Sevilla).

De la historia de la Geología puede extraerse un ejemplo muy ilustrativo al respecto, el origen de los fósiles. Como se ha señalado las concepciones fijistas sobre el relieve terrestre y la idea de que las rocas eran tan antiguas como la Tierra funcionaron como obstáculos epistemológicos que dificultaron la posibilidad de ofrecer una interpretación que hoy nos parece elemental acerca del origen de los fósiles.

Existió una dificultad añadida: hasta principios del siglo XVIII el término fósil aludía a “*cualquier objeto pétreo o material notable excavado de la tierra o encontrado en su superficie*” e incluía, además de lo que hoy consideramos fósiles, los minerales, las rocas y en ocasiones los corales, las perlas e incluso los cálculos renales. Lo que unía a todos estos objetos era su carácter pétreo. El uso de una misma denominación para referirse a todos ellos funcionó como una dificultad que no puede considerarse menor, en la medida en que no parece fácil explicar simultáneamente la génesis de objetos tan variados.

Todo aquello que viene denominándose *ideas de los alumnos* tiene, como en el caso del carácter pétreo de los fósiles, algo en común: constituye lo que el alumno ya sabe cuando se acerca a un nuevo conocimiento o a una tarea, pero existen importantes diferencias, algunas de ellas esenciales en relación con su origen, organización, funcionalidad, etc. En estas circunstancias pretender ofrecer una respuesta global y generalizada puede que encierre más inconvenientes que ventajas ¿cómo ponerse de acuerdo sobre si tienen o no coherencia interna? ¿si recuerdan o no a ideas que estuvieron vigentes a lo largo de la historia de la ciencia? o, lo que es más importante para la práctica docente ¿cómo decidir si constituyen obstáculos que deben removerse o ideas que deben mantenerse dado que son perfectamente funcionales en un determinado contexto?

A veces se ha planteado la conveniencia de distinguir entre las ideas de los alumnos relacionadas con el conocimiento cotidiano, que sí serían estables, y las relacionadas con el conocimiento escolar que lo serían mucho menos. Pero el asunto plantea diversos problemas, el primero de ellos es que la separación entre ambos tipos de conocimiento no siempre es clara, dada la presencia de ideas que beben de ambas fuentes. Por otra parte, dentro de cada una de estas dos categorías no todos los conocimientos se generan por los mismos procesos, existiendo marcadas diferencias de coherencia, estabilidad y funcionalidad.

Así, entre las ideas del alumnado se ha citado en ocasiones el concepto de suelo como “superficie sobre la que se anda o se construyen edificios” que interferiría en el concepto científico que pretende enseñarse. Ocurre que esta noción forma parte del conocimiento cotidiano, en ese contexto ha sido adquirida y ahí mantiene todo su sentido. El problema surge como consecuencia del uso científico de un término que en el lenguaje cotidiano tiene otro significado (es lo que sucede con los conceptos de fuerza, trabajo o energía). No se trata por tanto de que el concepto científico sea correcto y el cotidiano incorrecto sino que cada uno de ellos tiene un ámbito específico de aplicación.

Es oportuno traer a colación aquí uno de los debates más frecuentes en relación con las ideas de los alumnos: ¿qué hacer con ellas una vez que conocemos su existencia? Desde unas posiciones se defiende la necesidad de trazar una estrategia para erradicarlas y poner en su lugar el concepto “correcto”, desde otras se considera que lo que hay que hacer no es “dinamitarlas” sino dinamizarlas o movilizarlas, apoyarse en ellas para ir sustituyéndolas por otras progresivamente más próximas a la concepción científica, finalmente hay quienes sugieren la conveniencia de olvidar la pretensión de eliminación

tanto por “voladura” como por sustitución progresiva dado que, con frecuencia, exige un trabajo excesivo y a veces inútil, siendo más conveniente procurar que en un contexto escolar el estudiante active el concepto ofrecido como científico.

A nuestro juicio la diversidad de ideas de los alumnos y de orígenes de éstas desaconseja un mismo tratamiento para todas. Así, en el caso de la idea sobre el suelo que se ha descrito, la tercera opción parece la más adecuada. En efecto, un concepto como éste es perfectamente funcional en la vida cotidiana y no sólo para los alumnos y las alumnas sino para los adultos (profesorado de ciencias incluido) y no hay, por tanto ninguna razón para que deba ser eliminado. De lo contrario qué se iba a interpretar cuando te dicen en casa “hoy te toca limpiar el suelo”, o cuando se lee en la prensa “la ciudad necesita más suelo edificable”.

En síntesis, no parece justificable la utilización de un mismo tratamiento para atender a la diversidad de ideas de los alumnos, que van desde algunas inducidas por un inadecuado tratamiento escolar, hasta otras que funcionan como obstáculos epistemológicos, pasando por conocimientos de uso cotidiano perfectamente funcionales; y desde nociones aisladas hasta otras relacionadas que pueden funcionar como teorías implícitas.

En lo que sigue, se seleccionan aquellas ideas del alumnado que son más persistentes, pueden funcionar como obstáculos y tienen mayor influencia en la construcción de las nociones sobre la dinámica terrestre. En la mayoría de los casos se refieren a estudios realizados con estudiantes de edades entre 12 y 16 años.

### ***3.2 Ideas sobre el origen de las rocas***

En los trabajos publicados sobre las ideas que los alumnos tienen acerca del origen de las rocas (Happs<sup>5</sup>; Pedrinaci<sup>6</sup>; Gohau<sup>7</sup>) se habla de estudiantes entre 10 y 16 años que consideran, la mayor parte de las veces de manera implícita, las rocas observables en la actualidad tan antiguas como la Tierra. Incluso alumnos que recuerdan la existencia de diversos tipos de rocas, como las sedimentarias o las volcánicas (establecidos en función de su origen), al plantearseles la realización de tareas en las que no se presenta de manera explícita la formación de rocas, pero cuya resolución sí lo exige, funcionan como si las rocas actuales siempre hubiesen estado ahí, como si fuesen tan antiguas como la Tierra.

Así, por ej. en el curso de una entrevista a un alumno de 15 años se le mostró una roca calcárea en cuya superficie se apreciaba el fósil de un molusco. El desarrollo de esta parte de la entrevista fue como sigue:

- *¿Qué es esto Roberto?*
- *Un fósil*

---

<sup>5</sup> Happs, J.C. (1985). Regression in learning outcomes: some examples from the earth sciences. *European Journal of Science Education* 7(4), 431-443.

<sup>6</sup> Pedrinaci, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investigación en la Escuela*, 2, 65-74.

Pedrinaci, E. (1992): Las rocas tienen una historia que contarnos. *Aula*, 4-5, 33-35.

<sup>7</sup> Gohau, G., (1995). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écritains. *Aster*, 20, 21-42.

- *¿Por qué consideras que es un fósil?*
- *Porque se ve que es un fósil*
- *¿Y qué le ves para decir que es un fósil?*
- *Pues que es de piedra*
- *¿Todo lo que es de piedra es un fósil?*
- *No, sólo si se ve que es un animal. Bueno, que fue un animal*
- *¿Dónde se ha podido formar?*
- *No sé. Bueno, creo que en el mar*
- *¿Y cómo se ha podido formar?*
- *No sé*
- *Imagínate el momento en que este animal estaba vivo y piensa qué ocurriría después*
- *El animal se murió, la concha cayó sobre la piedra y ahí se quedó hasta que se convirtió en fósil.*

...

Si se echa una ojeada a los libros de texto de educación secundaria e incluso de primaria, se verá que las rocas son clasificadas "a priori" en sedimentarias, ígneas y metamórficas. Podría decirse que al tratarse de una clasificación genética precisamente se quiere subrayar la importancia del origen. Sin embargo frecuentemente se obvia el aspecto fundamental: mostrar que todas las rocas tienen un origen. Sólo después de que se ha mostrado que las rocas tienen un origen adquiere sentido establecer categorías en función de dicho origen.

### Cuadro 3.2

#### *Ideas de los alumnos sobre el origen de las rocas*

Las ideas que presentan los alumnos de entre 12 y 15 años acerca del origen de las rocas pueden sintetizarse de acuerdo con la siguiente tipología:

- a) *Los que tienen una visión de las rocas como materiales muy estables, no sometidos, en consecuencia, a cambios relevantes.*
- b) *Los que, entre los cambios, sólo consideran procesos destructivos de las rocas (erosión).*
- c) *Los que relacionan la sedimentación con la erosión, pero sin asociarla al proceso de formación de algunas rocas.*
- d) *Los que consideran la posibilidad de formación de nuevas rocas aunque la limitan a la superficie terrestre.*
- e) *Los que incluyen, además, procesos de formación de rocas endógenas.*

### **3.3 La inmutabilidad del relieve**

Algunos estudios realizados sobre las concepciones alternativas de los alumnos muestran que son relativamente frecuentes interpretaciones estáticas acerca de la parte sólida de nuestro planeta y otras que introducen escasos elementos dinámicos. La idea de unas rocas tan antiguas como la Tierra forma parte de esa perspectiva inmutable de la superficie del Planeta.

La cuestión que se formula en la figura 3.1 es útil para valorar las ideas sobre el origen de los fósiles y sobre el origen de las rocas, pero también nos ayuda a entender sus ideas sobre la dinámica interna de la Tierra.

A continuación se muestran algunas respuestas a esa cuestión realizadas por alumnos de 13-15 años, que pueden ser representativas de una determinada perspectiva, relativamente frecuente a estas edades.

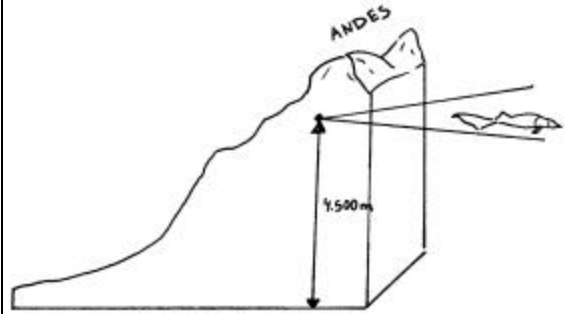


Fig.3.1 En la cordillera de los Andes, a 4500 m de altura se han encontrado fósiles de peces marinos. ¿Cómo explicarías la presencia de estos fósiles ahí? Puedes ayudarte de un dibujo

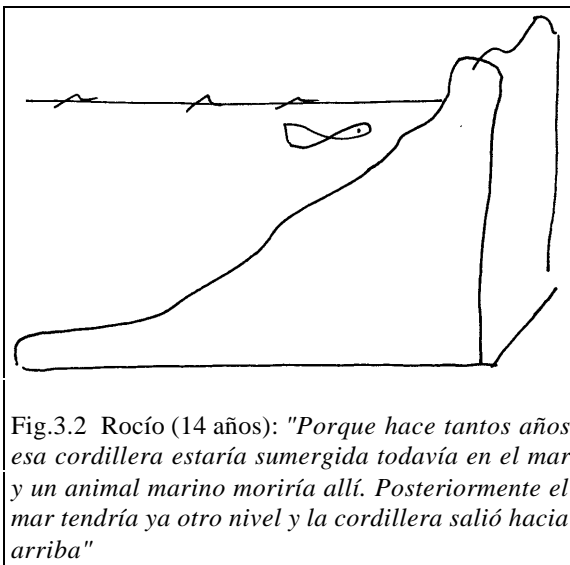


Fig.3.2 Rocío (14 años): "Porque hace tantos años esa cordillera estaría sumergida todavía en el mar y un animal marino moriría allí. Posteriormente el mar tendría ya otro nivel y la cordillera salió hacia arriba"

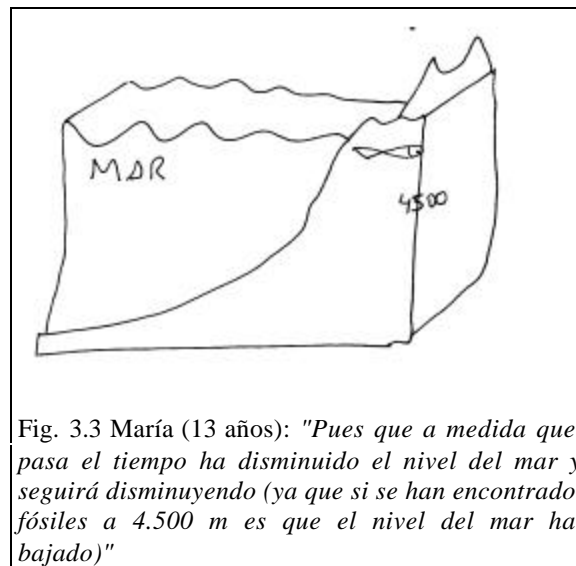


Fig. 3.3 María (13 años): "Pues que a medida que pasa el tiempo ha disminuido el nivel del mar y seguirá disminuyendo (ya que si se han encontrado fósiles a 4.500 m es que el nivel del mar ha bajado)"

De estas respuestas y otras similares podrían destacarse las siguientes conclusiones:

- *Utilizan el principio del actualismo*, al entender que la presencia de un fósil marino en un lugar significa que este lugar debió estar bajo el nivel del mar. Se pudo constatar, en una entrevista posterior que ninguno de ellos había oído hablar de este principio y, sin embargo, lo utilizaban de manera intuitiva razonablemente bien.
- *No parecen tener resistencia a subir o bajar el nivel del mar cuanto sea necesario*. En este caso se trataba de 3.500m, el resultado ha sido idéntico cuando se les ha planteado una altitud de 7.000m. Parece claro que carecen de referencias sobre las proporciones que pueden adquirir los cambios eustáticos. En este terreno su perspectiva es excesivamente dinámica o, al menos, no parecen tener obstáculos para un movimiento casi ilimitado del nivel del mar.
- Como se acaba de comentar en el apartado precedente, *las rocas son anteriores a los fósiles que contienen*, que parecen haberse "incrustado" en

ellas. A veces, incluso, utilizan este término. Así un estudiante ofrece la siguiente respuesta a la cuestión que nos ocupa: *"Porque antes el nivel del mar estaba más elevado, estas montañas estaban enterradas en el agua. Cuando bajó el nivel se quedaron incrustados en estas montañas algunos peces y animales marinos"*.

- *La cordillera ya existía cuando el pez, hoy fosilizado, vivía* (este aspecto se analiza más adelante).
- *La morfología de la cordillera no ha cambiado*. De manera que los procesos de erosión, que estos alumnos conocían, tampoco son considerados inicialmente como factores que inevitablemente cambiarán la forma de las montañas. Conviene aclarar que, aún en estos casos, si se les pregunta de manera expresa por los efectos de la erosión no suelen mostrar resistencia a introducirla como proceso que modifica el relieve.

### ***3.4 Ideas sobre el tiempo geológico***

Cuanto se han acercado al estudio de las dificultades de comprensión del concepto de tiempo geológico, han destacado la *"barrera imaginativa"* que parece existir para representarse mentalmente cifras de tan enorme magnitud como las utilizadas al estudiar la historia de la Tierra y de los procesos que han ocurrido en ella. En general, para los adolescentes y para muchos adultos, tiene el mismo significado un millón de años que mil millones de años, en ambos casos la representación mental de estas cifras resulta igualmente inabarcable.

No obstante, a nuestro juicio, el problema es bastante más complejo (ver al respecto el trabajo de Pedrinaci y Berjillos<sup>8</sup>).

### ***3.5 Ideas sobre la construcción de las montañas***

Antes de presentar algunas de las ideas de los estudiantes sobre este campo conceptual, quizá convenga señalar que la formación de las montañas es un problema que en muchos casos, especialmente los menores de 14 años, jamás se han planteado, ni en la escuela ni fuera de ella. ¿Quiere decir esto que carecen de ideas previas sobre la formación de las montañas? No necesariamente. De acuerdo con Pozo et al (1991) tendemos a buscar explicaciones a los cambios pero no a los estados que nos parezcan "normales" o permanentes: *"todo movimiento debe ser explicado y por tanto todo movimiento implica una causa"*. Por el contrario, siguiendo una creencia aristotélica, el reposo sería el estado natural de las cosas y no precisa explicación.

Desde esta óptica la ausencia de explicación expresa no implica, necesariamente, la inexistencia de algunas ideas al respecto. Así, en el caso de las montañas, podría llevar aparejada la idea de que existen pero no se forman, sino que son elementos permanentes del relieve. Es lo que hemos venido denominando perspectiva estática. En realidad no debería sorprendernos esta posición. Las evidencias de sentido común

---

<sup>8</sup> Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1994): El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2 (1), 240-251.

apuntan a las montañas como formaciones permanentes que nadie ve formarse y que apenas se aprecia su erosión que, en todo caso, no conseguiría destruirlas.

Al analizar las teorías antiguas sobre el origen de las montañas se ha podido comprobar la frecuencia con que perspectivas de este tipo se han sostenido. En los estudiantes de educación secundaria es posible detectar algunas ideas que recuerdan teorías vigentes en el pasado. No se pretende sugerir que puedan clasificarse las concepciones de los alumnos en, por ejemplo, neptunistas o vulcanistas pero sí que es posible identificar entre sus explicaciones interpretaciones que participan de algunos de esos planteamientos.

La detección de arcaísmos nos ayuda a entender las dificultades de aprendizaje que tienen, las ideas con las que reinterpretan algunas de las informaciones que reciben o la lógica interna existente en ellas que es, en última instancia, una de las principales causas de su persistencia: si ciertas ideas se resisten a desaparecer es porque les resultan útiles, porque tienen capacidad para explicar algunas observaciones y no disponen de otras más eficaces. Como señalan Monchamp y Sauvageot-Skibine (1995) "*Un obstáculo es resistente porque propone un sistema explicativo*". Analizar las ideas de los alumnos debe incluir qué permite explicar y qué aprendizajes dificulta.

Se han publicado pocos trabajos que ayuden a conocer e interpretar las ideas de los estudiantes sobre la dinámica terrestre (ver *Alambique* nº 18, 1998). Las reflexiones que aquí se incluyen parten de esos trabajos. La variedad de ideas de los alumnos que parecen subyacer en las interpretaciones que ofrecen, su diversidad morfológica y la frecuencia de planteamientos anecdóticos o de fabulaciones, podría hacer de su exposición un listado tan extenso como inútil. Se ha optado por analizar sus respuestas procurando detectar algunas tendencias en los modos de explicación de la dinámica terrestre y, particularmente, del origen de las montañas. Estas tendencias podrían ofrecernos algunos de los "*patrones de pensamiento*" que siguen. A continuación se sintetizan aquellos que pueden ser más relevantes:

*a) La formación de las montañas es más un proceso del pasado que actual o futuro*

Históricamente quienes han defendido posiciones de este tipo han diferenciado de manera más o menos explícita (por ejemplo Buffon, 1778) dos épocas en la naturaleza. La primera correspondería a la formación del Planeta y sería una época geológicamente muy activa con grandes erupciones volcánicas y formación de montañas y valles. La segunda época, la actual, presentaría poca actividad geológica, los cambios tenderían a suavizar los relieves y poco más. Gohau (op. cit) ha encontrado en escritores y cineastas arcaísmos similares a estos, y nosotros los

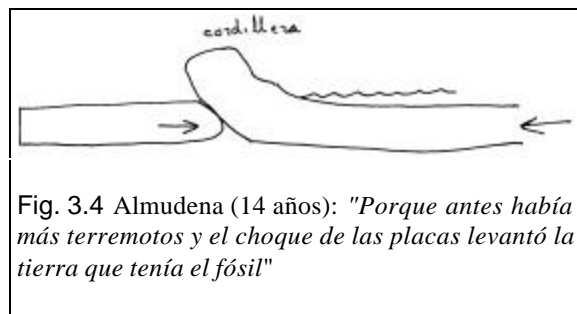


Fig. 3.4 Almudena (14 años): "*Porque antes había más terremotos y el choque de las placas levantó la tierra que tenía el fósil*"

hemos detectado en ciertos alumnos. También Marques<sup>9</sup> encuentra en estudiantes de 17-18 años ideas que remiten al enfriamiento de la Tierra primitiva como explicación del origen de las montañas.

*a) Catastrofismo precientífico más que uniformismo*

Se ha señalado que los alumnos de 12-16 años tienen frecuentemente cierta "propensión al catastrofismo". Puede parecer contradictorio que sean aquellos que muestran una concepción más estática del relieve los que, al ponerlos en situación de tener que justificar un cambio importante, recurren con más asiduidad a catástrofes (enormes erupciones volcánicas y, sobre todo, grandes terremotos).

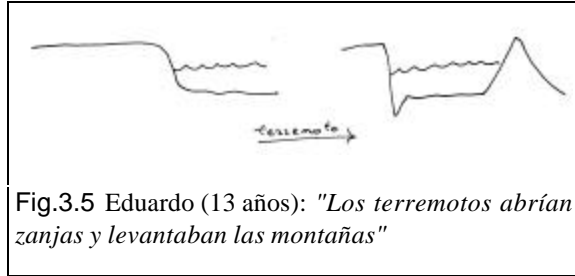


Fig.3.5 Eduardo (13 años): "Los terremotos abrían zanjas y levantaban las montañas"

Conviene aclarar que se trata de un *catastrofismo precientífico*. Es decir, una interpretación que nada tiene que ver con la perspectiva neocatastrofista actualmente vigente, ni siquiera con el catastrofismo de finales del siglo XVIII y principios del XIX sino más bien con el de épocas anteriores al XVIII. Una interpretación en la que únicamente se tiene en cuenta la situación inicial y la final. No sólo se desconoce el proceso ocurrido entre ambas sino que se renuncia a entenderlo, recurriendo a una catástrofe que, de manera tan instantánea como incomprensible, provoca el efecto buscado. Así un par de terremotos basta para dividir en dos un continente o para originar una cordillera.

Pozo et al<sup>10</sup> sostienen que uno de los criterios que rigen las explicaciones causales ofrecidas por las personas, es la "regla de la semejanza", según la cual tendemos a creer que existe una semejanza (cualitativa y/o cuantitativa) entre las causas y los efectos. Desde esta perspectiva sólo una catástrofe puede producir algo tan grande como una montaña. Lo lento se tiende a considerar cuantitativamente poco importante ¿Cómo asignarle a una causa lenta (léase poco importante) un efecto de las dimensiones de una cordillera?

*b) Acumulación más que interacción*

Las figuras adjuntas muestran algunas explicaciones de alumnos de 14 años a la formación de las montañas. En la primera de ellas puede observarse que el modelo utilizado es el de formación de una duna.

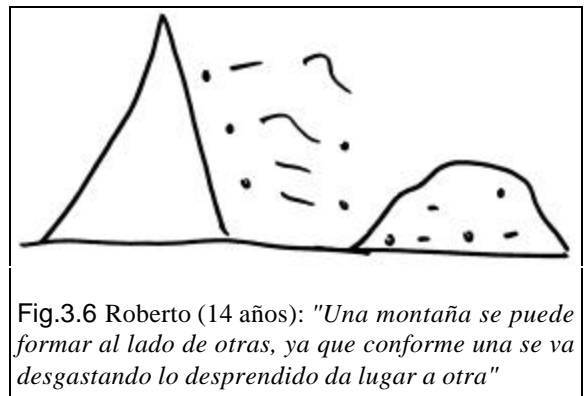


Fig.3.6 Roberto (14 años): "Una montaña se puede formar al lado de otras, ya que conforme una se va desgastando lo desprendido da lugar a otra"

<sup>9</sup> Marques, L. (1998): De la distribución de los continentes a la tectónica de placas: concepciones de los alumnos. *Alambique*, 18, 19-30.

<sup>10</sup> Pozo, J.I., Sanz, A., Gómez Crespo, M.A. y Limón, M. 1991. Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la Psicología Cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 83-94.

Conviene tener en cuenta que los estudiantes sobrevaloran la capacidad del viento como agente geológico, al que suelen dar mucha más importancia que al agua. Lillo<sup>11</sup> (1993) ha encontrado ideas similares en alumnos de 10-14 años.

Diversos autores (Pozo et al.; García<sup>12</sup>) han mostrado las dificultades que parecen tener los estudiantes para interpretar los cambios en términos de interacción, así como la tendencia a considerarlos procesos de adición, éste sería un caso más.

c) *Movimientos del agua del mar antes que de los materiales sólidos*

Como se ha indicado los estudiantes no tienen dificultad en introducir cambios eustáticos de las proporciones que sean necesarias para explicar la presencia de fósiles marinos en las montañas. En eso tampoco se diferencian demasiado de los neptunistas. En todo caso, históricamente han resultado más verosímiles teorías que recurrían al ascenso y descenso del nivel del mar que a elevaciones y descensos de los continentes o de los fondos oceánicos. Gohau (op. cit) señala que para los alumnos "es más fácil pensar en movimientos de ascenso y descenso del nivel de las aguas que en variaciones del nivel de los suelos".

Conviene subrayar la importancia que tiene la sobrevaloración que hacen de las modificaciones del nivel del mar, o cambios eustáticos, dado que puede actuar como obstáculo. En la medida en que disponen de una explicación que les resulta sencilla no tienen necesidad de buscar otra. De esta manera el "eustatismo desmedido" vendría en auxilio de sus ideas estáticas, ofreciéndoles respuestas a la presencia de fósiles marinos sin tener que modificar su perspectiva de una Tierra sólida no sometida a cambios importantes.

d) *Procesos atectónicos más que procesos tectónicos*

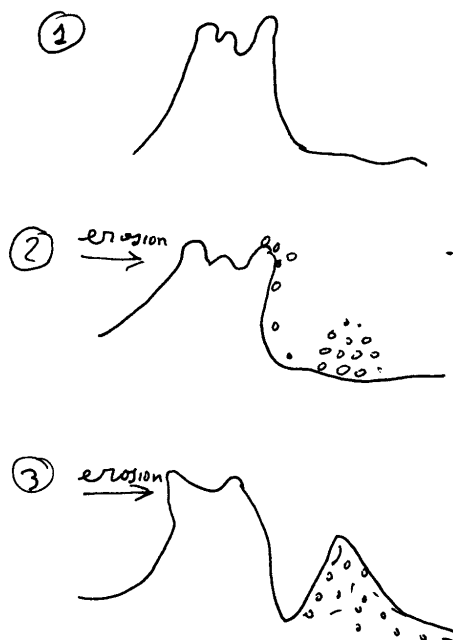
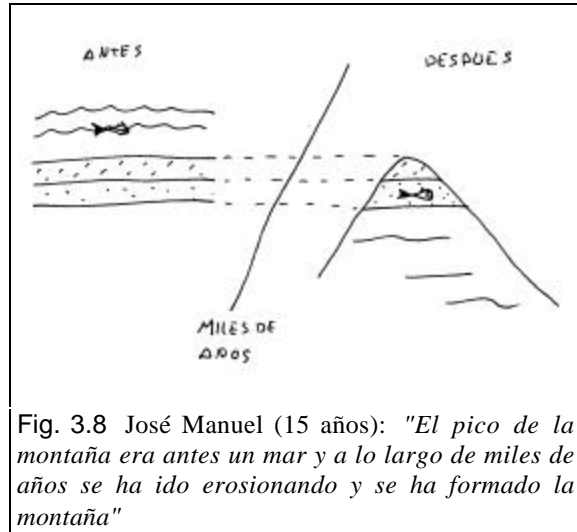


Fig. 3.7 Jaime (14 años): " En un sitio donde fácilmente se puede formar una montaña es en la falda del Everest"

<sup>11</sup> Lillo, J. (1993). Análisis de errores conceptuales en geología a partir de las expresiones gráficas de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 98-107.

<sup>12</sup> García, J. E. (1997): La formulación de hipótesis de progresión para la construcción del conocimiento escolar: una propuesta de secuenciación de la enseñanza en la ecología. *Alambique*, 14, 37-48.

Ya se ha hablado de ideas del alumnado que sugieren la sedimentación, tanto en ambientes continentales como oceánicos, para explicar la formación de las montañas. También utilizan la erosión diferencial producida por las aguas, recordando ideas como las de Burner (siglo XVII). La figura 3.8 presenta la respuesta de un alumno que hace, incluso, una correlación entre los estratos en su disposición inicial y final (aunque confunde el lugar del fósil).



Los procesos que no incluyen deformaciones de las rocas han dominado históricamente hasta comienzos del siglo XIX. No debe extrañar demasiado que también estén presentes en las ideas de los estudiantes. Entre ellas cabe citar a las erupciones volcánicas como generadoras del relieve. Desde la antigüedad clásica hay descripciones de procesos volcánicos, y quienes los conocían a menudo consideraban que eran los únicos fenómenos actuales capaces de originar montañas.

#### *f) Algunas ideas sobre las placas litosféricas y su dinámica*

Las ideas que se han comentado se encuentran especialmente, aunque no sólo, en adolescentes que no han trabajado aún la tectónica de placas o, más frecuentemente, que sólo han visto algunos rudimentos de ella. ¿Qué ocurre con alumnos que ya han estudiado la tectónica de placas?

Quizá lo primero que sorprenda es que el modelo movilista parece entrar con facilidad, con demasiada facilidad. Como señala Astolfi<sup>13</sup> refiriéndose a otro campo conceptual "cuando se les explica la evolución de los seres vivos, en general no experimentan dificultad alguna y, por el contrario se muestran de acuerdo de forma inmediata (...) Los alumnos creen que comprenden el concepto que se les expone, pero lo que les falta es poder comprender lo que ha sido preciso construir (y sobre todo, a qué ha sido preciso renunciar) para que aquél adquiera sentido".

Marques (op. cit) ha investigado las ideas que presentan alumnos de 17-18 años sobre la cuestión que nos ocupa. Entre ellas podríamos destacar las siguientes, con frecuencia los estudiantes:

- identifican placa litosférica con continente.
- explican de modo similar la formación de cordilleras submarinas (dorsales) y cordilleras continentales (orógenos).
- sobrevaloran los esfuerzos verticales, en detrimento de los horizontales, en sus explicaciones sobre la formación de las cordilleras.
- no diferencian campo magnético y campo gravitatorio.

<sup>13</sup> Astolfi, J.P. 1993. "Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos en Ciencias: la forma de franquearlos didácticamente", en *Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias*. CIDE. Madrid, p. 289-306.

### ***3.7 Obstáculos para el aprendizaje: una síntesis integradora***

En las páginas anteriores se ha querido mostrar la existencia de ciertos paralelismos entre las teorías antiguas sobre la dinámica terrestre y algunas ideas de los estudiantes. También se ha indicado que con ello no pretende sostenerse que los estudiantes recapitulen en su desarrollo el proceso histórico de construcción científica (ontogenia /filogenia).

Nuestra hipótesis de trabajo es que ciertos obstáculos epistemológicos con los que se han encontrado filósofos y científicos en la construcción del pensamiento, forman parte de una determinada manera de interpretar las experiencias cotidianas o los procesos naturales. Experiencias y procesos que tienen carácter permanente, por lo que no es extraño que se produzcan ciertas analogías. Las similitudes no pueden ir más allá, dado que las diferencias de contexto intelectual, cultural, tecnológico y social entre los adolescentes de hoy y los pensadores del pasado, son lo suficientemente importantes como para que eso no ocurra. Pero determinadas coincidencias pueden ponernos en guardia ante posibles obstáculos epistemológicos, que deberán ser considerados antes de elaborar una propuesta de aprendizaje. Se sintetizan a continuación algunas de estas posibles coincidencias.

En la mayor parte de estos obstáculos se hallan implicados no sólo ciertos conceptos o teorías sino también determinados procedimientos de investigación o de observación e incluso actitudes. Se ha optado, en consecuencia, por ofrecer una síntesis integradora. Debe destacarse que muchas de las dificultades de aprendizaje de la dinámica interna terrestre en la educación secundaria, no entran dentro del campo estricto de los procesos internos, sino que son conceptos anteriores que condicionan la perspectiva global en la que estos se enmarcan:

#### *a) La inmutabilidad terrestre como obstáculo*

La perspectiva estática de la Tierra ha sido quizá el más importante y persistente obstáculo para el desarrollo de las interpretaciones sobre el origen de las rocas, sobre la edad de la Tierra o sobre el origen de las cordilleras y, probablemente, sea el más determinante y el primero que deba considerarse en el aprendizaje de este campo conceptual. Históricamente ha mostrado diferentes grados. En su versión más extrema ha funcionado como inhibidora de cualquier explicación, científicamente fundamentada, sobre estos procesos. Otras versiones menos radicales y más recientes (la teoría de la permanencia de continentes y océanos) constituyeron el principal obstáculo para la introducción del movilismo.

La lentitud, considerada desde la escala temporal humana, con que ocurren la mayor parte de los procesos geológicos, ha favorecido en el pasado interpretaciones estáticas y, sin duda, sigue alimentando ideas similares en los estudiantes.

#### *b) El catastrofismo precientífico*

Como en la perspectiva estática, a la que con frecuencia se encuentra asociada, la importancia del catastrofismo precientífico como obstáculo para el aprendizaje radica en su capacidad para inhibir el cuestionamiento sobre los procesos geológicos, o la búsqueda de explicaciones. En el caso anterior ocurría esto porque en ausencia de cambio nada hay que explicar, aquí porque permite obtener justificaciones rápidas sin

entender la mecánica del proceso al que se recurre (generalmente terremotos) ni su capacidad o incapacidad para provocar los cambios atribuidos.

*c) El origen de las rocas como obstáculo*

Como se ha comentado, la idea de que todas las rocas tienen un origen más o menos próximo ha debido superar históricamente importantes obstáculos. Así, hasta el siglo XVII no sólo se carece de teorías sobre el origen de las rocas sino que no se había planteado formalmente la cuestión. No había nada que explicar, no existía el problema y por tanto no se buscaban respuestas. Las teorías sobre la génesis de las rocas que ha ido construyendo la Geología han debido abrirse paso contra todas las evidencias de sentido común que parecían sugerir lo contrario

¿Es casual que tanto los alumnos como los naturalistas de otras épocas hayan considerado las rocas tan antiguas como la Tierra? En realidad, si se exceptúan algunas volcánicas, no percibimos la formación de ninguna roca nueva. El ritmo al que ocurren estos procesos, unido a que suceden a cierta o a mucha profundidad hace que permanezcan ocultos ante la mirada de cualquier observador.

*d) La cronología*

La barrera imaginativa, o dificultad de representar mentalmente valores temporales de la magnitud requerida en Geología ha favorecido dos tendencias. La primera consistía en negar su inmensidad: la "cronología corta" que atribuía a la Tierra una edad aproximada de seis mil años y que obligaba a incluir en este estrecho margen todos los procesos geológicos. Lo que sustentó perspectivas de una Tierra estable (en tan corto lapso de tiempo pocos cambios importantes han podido ocurrir), o interpretaciones catastrofistas (si han ocurrido cambios importantes, habrán sido causados por catástrofes).

La segunda (Aristóteles, Hutton, etc.) consistía en imaginar la historia de la Tierra como una sucesión indefinida de ciclos, cada uno de los cuales borraba las huellas del anterior, de manera que el problema del tiempo se hacía irrelevante por la imposibilidad de su resolución.

*e) La diversidad y amplitud de las escalas espaciales*

La comprensión de la dinámica interna de la Tierra exige el manejo de enormes escalas espaciales. Los alumnos tienen dificultad para saber de qué escala estamos hablando. Los procesos implicados requieren para su estudio una perspectiva global del Planeta, pero también la utilización simultánea de escalas menores. El ajuste rápido entre ambas escalas, su consideración simultánea o la transferencia de datos de una a otra suponen una complejidad añadida.

*e) La inaccesibilidad de estos procesos*

Los procesos que nos ocupan tienen su origen en el interior terrestre y sus efectos tanto en el interior como en el exterior. La profundidad a la que ocurren con frecuencia, la imposibilidad de observarlos y reproducirlos en el laboratorio no cabe duda de que dificultan su comprensión. A determinadas edades "lo que no se percibe no se concibe".

*f) La naturaleza de las rocas*

La resistencia, tanto en los naturalistas del pasado como en los estudiantes, a introducir mecanismos tectónicos en sus respuestas a los problemas planteados, quizá esté relacionada con la naturaleza de las rocas, su estado físico, su comportamiento ante los esfuerzos y la dificultad que muestran en las condiciones de la superficie terrestre para deformarse plásticamente. Entender los procesos internos exige franquear este obstáculo.