

La enseñanza de contenidos geológicos en la escuela media.

Viaje al centro del concepto de planeta Tierra

CIENCIAS NATURALES

10

PLANETA TIERRA

Capítulo

Contenidos

- Estructura de la Tierra
- Subsistemas terrestres
- Rocas y minerales
- Terremotos y volcanes
- Movimientos de la Tierra
- Día y noche.
- Estaciones del año
- Los planetas

Por Guillermo Mattei, gmattei@df.uba.ar

La última reforma de los Contenidos Básicos Curriculares de la escuela media incluyeron a las Ciencias de la Tierra. Sin embargo, en la compilación de los nuevos manuales áulicos, no participaron geólogos, ni paleontólogos, ni científicos de la atmósfera y de los océanos.

¿Resultado?, una considerable propagación de conceptos confusos o erróneos. El profesor de la FCEyN José Sellés Martínez delinea un mapa de los principales malos entendidos en la enseñanza de temas geológicos.



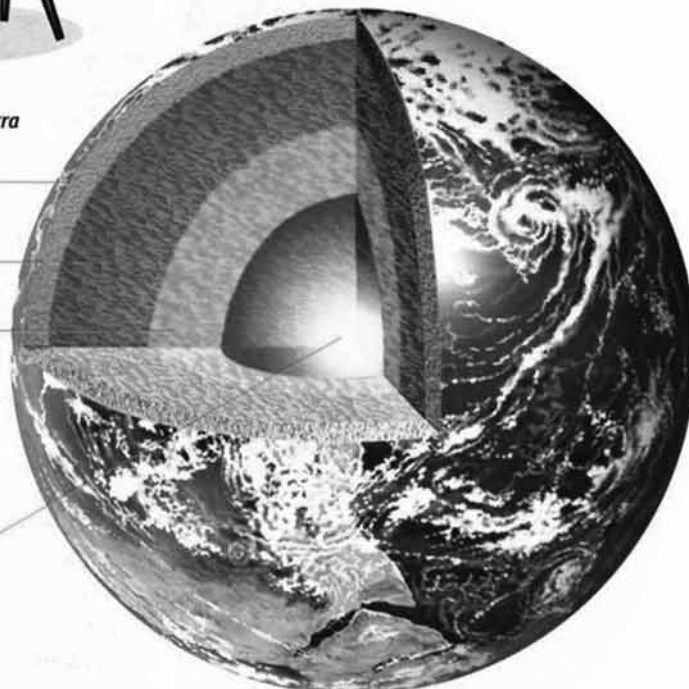
Estructura de la Tierra

CORTEZA: 32 KM
(PROMEDIO)

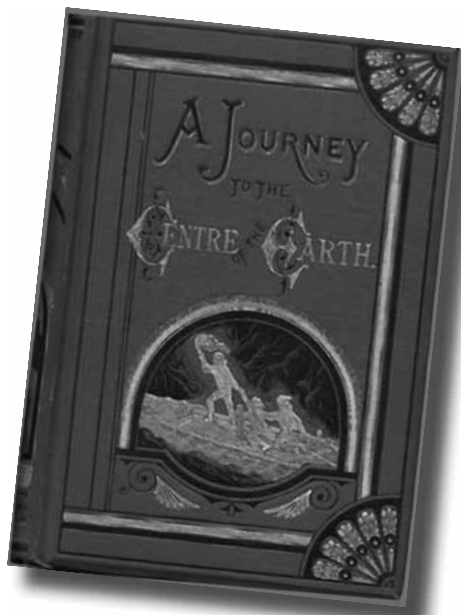
MANTO:
2.900 KM

NÚCLEO
EXTERNO:
2.250 KM

NÚCLEO
INTERNO:
1.280 KM



Uno. La etiqueta de una popular marca de agua mineral, que se vende principalmente al sur de la Provincia de Buenos Aires y que, al menos originalmente, se obtenía de un pozo surgente a más de 600 metros de profundidad y a una temperatura de 60 grados, incluye una ilustración que muestra al reservorio natural del agua como una gran cisterna subterránea. También se reconocen en el dibujo unas capas de arena y arcilla intercaladas a diferentes profundidades, por sobre la gran cisterna, definidas por una leyenda como *arena acuífera blanca*, lo que enfatiza contradictoriamente el hecho de que el agua que se envasa no está contenida en una capa acuífera —*acuífero* significa justamente “que porta agua”— sino en la enorme cavidad por debajo.



Julio Verne, autor de la novela "Viaje al centro de la Tierra".

Dos. El aviso en un diario está acompañado de un gráfico en el que se muestra a un obrero del petróleo clavando una pala en el suelo debajo del cual, a una profundidad de unas tres veces el tamaño del hombre, se extiende, también en este caso, una cisterna repleta del valioso fluido.

Tres. Otra publicidad describe las virtudes de un vehículo todo terreno y lo compara con "un diamante en bruto", ilustrando la idea con la imagen de un brillante semisumergido en el fango.

Pero los fluidos tales como el agua, el gas o el petróleo no se encuentran almacenados en vastas cavidades o cisternas subterráneas, ni los diamantes en bruto exhiben igual cantidad de facetas que aquellos tallados por un artesano.

Las anteriores son tres muestras, más o menos excusables, de conceptos geológicos mal entendidos o erróneos que están instalados en la cultura general y que podrían ser, a juicio de los especialistas en el tema, el emergente de una estrategia errática en la enseñanza de las ciencias de la Tierra que, además, podría conducir a un peligroso analfabetismo geocientífico en ciudadanos que deberían participar, mediante su voto, en decisiones vinculadas al medio ambiente o la explotación de los recursos naturales.

El manual de Julio Verne

"La inclusión, en los Contenidos Básicos Curriculares reformados de la escuela media, de temas anteriormente ausentes —geología, paleontología, ciencias de la

atmósfera y de los océanos— balancea auspiciosamente una situación surgida en la segunda mitad del siglo XX por la que primaba la identificación de las ciencias naturales exclusivamente con la biología. Sin embargo, la implementación práctica de la mencionada inclusión adolece de algunas dificultades que sólo podrían subsanarse con una mejor interrelación entre los científicos y la comunidad escolar", sostiene el profesor del Departamento de Ciencias Geológicas de la FCEyN, José Sellés-Martínez.

Sellés-Martínez, miembro fundador del Centro para la Formación e Investigación en la Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC) de la FCEyN y del Programa de Asistencia para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (Aulagea), explica que, no habiendo en el aula bibliografía específica sobre las Ciencias de la Tierra, muchas veces se recurre a traducciones de libros de divulgación que, si bien incluyen atractivas ilustraciones, son poco rigurosos en los términos, las definiciones y los conceptos. Estos libros no plantean un itinerario lógico de comprensión de los temas, acorde al nivel educativo, sino que, simplemente, son meras presentaciones informativas que, muchas veces, hasta tienen un estilo literario suficientemente exagerado como para conspirar contra la correcta comprensión de los temas. Estos materiales comparten algunas características: los ejemplos tratados casi nunca son vernáculos (dado que se trata de traducciones), la terminología no es ni rigurosa ni consistente o las limitaciones de los modelos con que se intenta reproducir los fenómenos bajo estudio no son analizadas en profundidad.

Cuando un alumno lee: "...nos hallamos envueltos en una erupción volcánica, la fatalidad nos ha arrojado en el camino de las lavas incandescentes, de las rocas encendidas, de las aguas hirvientes, de todas las materias eruptivas; vamos a ser repelidos, expulsados, arrojados, vomitados, lanzados al espacio entre rocas enormes, en medio de una lluvia de cenizas y de escorias, envueltos en un torbellino de llamas..."; tiene muy claro que se trata del *Viaje al centro de la Tierra*, la clásica novela de Julio Verne.

Pero si el alumno lee: "Seguramente tu piensas que el suelo debajo de tus pies es sólido e inmutable, pero se mueve constantemente. El suelo que pisas es como una rebanada de pan flotando en una sopa densa que hierve. En otras palabras, el centro de la Tierra es un horno incandescente que funde las rocas y que hierve permanentemente con una fuerza tan impresionante que puede hacer temblar la superficie, levantar montañas y volcanes y lograr que los continentes choquen o se separen a medida que atraviesan las enormes corrientes de roca fundida que circulan debajo de la corteza terrestre", y a continuación: "Algunos científicos creen que, en el manto de la Tierra, la materia que hierve se sacude impulsada hacia la superficie por las altas temperaturas interiores y luego se enfría y se sumerge nuevamente. Este flujo circular de materia, denominado *celdas de convección*, vale para cualquier líquido. Debido a que el manto está compuesto por rocas sólidas, el flujo de subida y bajada es muy lento", podría recordarle la pluma del famoso Verne cuando, en realidad, se trata del texto de un popular



La litosfera, capa más externa de la Tierra, está formada por placas que se deslizan sobre el manto terrestre y se desplazan unas respecto de las otras. En la Figura, la placa oceánica se hunde bajo la placa continental (proceso de subducción).

libro de divulgación en el cual la exageración del estilo, las metáforas mal elegidas y los conceptos confusos, mezclados o erróneos conspiran contra el conocimiento que se pretende transmitir.

Sellés-Martínez explica que “el interior de la Tierra no puede ser comparado con un horno y el funcionamiento de las celdas de convección, tal como se las interpreta actualmente, estaría restringido sólo al manto, usar indistintamente *centro* o *interior* de la Tierra no es válido cuando se trata de estos temas”. El centro de la Tierra está ocupado por un núcleo cuya parte externa —compuesta principalmente por hierro y azufre— se comporta frente a las ondas sísmicas como un líquido, mientras que su parte interna —de hierro y níquel— lo hace como un sólido.

El manto se extiende desde la superficie externa del núcleo hasta la base de la corteza y, tal como indica Sellés-Martínez, “a pesar de lo que dice el texto mencionado, no hierve ni permanente ni esporádicamente” (Ver figura 1). La ebullición es el resultado de la liberación de vapores en el seno de un líquido, cosa imposible de ocurrir a las presiones reinantes a grandes profundidades, salvo cuando el magma proveniente de tales abismos alcanza las proximidades de la superficie terrestre. En este caso, tiene lugar una brusca liberación de gases que incluso puede producir explosiones catastróficas. “Salvo la parte exterior del núcleo —que, vale enfatizar, es líquida—, un pequeño porcentaje de material fundido en el manto y un reducido número de lugares específicos —denominados *cámaras magmáticas*— donde, circunstancialmente, puede acu-

mularse material fundido, la mayor parte del material que constituye el planeta es sólida”, remarca Sellés-Martínez

Cuando se calienta un líquido, tiene lugar un proceso de circulación de la masa líquida, por caminos más o menos cerrados, o celdas de convección. Las partes más calientes y livianas tienden a *flotar* y suben siendo reemplazadas por las partes más frías y pesadas, que se *hunden*. Estas corrientes, impulsadas por las diferencias de densidad, se conservan ordenadas mientras el líquido no hierva, es decir no comience a desprender partículas en estado de vapor, en cuyo caso el flujo pasa a ser caótico. Sin embargo, “es necesario aclarar que, por más comparables que sean las corrientes de convección en el manto con las que se generan en un líquido que se calienta, no son iguales”, expresa el geólogo, y agrega que “la dinámica del manto, en todo caso, es comparable al desplazamiento de los glaciares o del alquitrán asfáltico, materiales que, pese a ser sólidos y obviamente a no estar hirviendo, fluyen en forma casi imperceptible motorizados por su propio peso. Asimismo, Sellés-Martínez ilustra: “El manto es sólido pero, como muchos otros sólidos, puede deformarse plásticamente —sin fracturarse— mientras el proceso sea muy lento o técnica y coloquialmente hablando... ¡en tiempos geológicos!”.

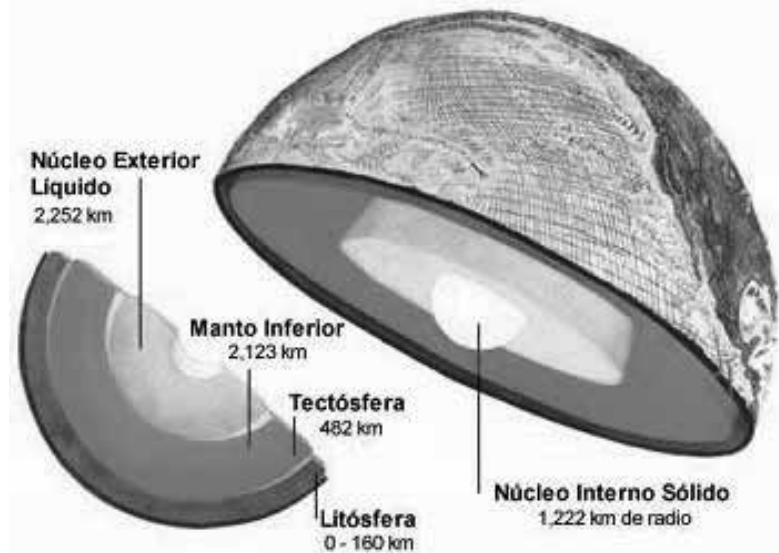
Muy a pesar de lo que transmite el manual que remeda a Verne, las corrientes de convección del manto tampoco levantan montañas, ya que éstas se originan generalmente por la colisión de dos placas litosféricas. Aún en el caso de las montañas de origen volcánico, el magma que genera las lavas

raramente procede del manto, ya que, en general, lo hace de cámaras magmáticas instaladas en la litosfera y aún en la corteza. Solo las lavas que forman las cordilleras centrooceánicas y algunas cadenas volcánicas asociadas a los denominados *puntos calientes* del planeta tienen su origen debajo de la litosfera. La mayoría de los volcanes se levantan a partir de material que es fundido dentro de la misma placa, pero no por el *horno* al que alude el manual, sino por la actividad de los materiales radiactivos que, al desintegrarse en sus isótopos, liberan calor. La penetración de las placas oceánicas por debajo de otras placas litosféricas transporta sedimentos ricos en agua a grandes profundidades y estos materiales con bajo punto de fusión, más los líquidos que los acompañan, facilitan enormemente la fusión de las rocas con las que se ponen en contacto (ver figura 2).

Casi naturaleza en escalas humanas

En el proceso de enseñanza-aprendizaje, particularmente en el de temas de ciencias de la Tierra, es frecuente el uso de modelos idealizados o construcciones concretas que facilitan la comprensión de una parte de los conocimientos o emulan un mecanismo natural con el objetivo de fijar sus conceptos claves. Específicamente, en lo que se refiere a la estructura y dinámica del interior terrestre, hay modelos materializados por medio de maquetas o ilustraciones diversas que, en principio, deberían ayudar a los alumnos a fijar ideas respecto a dimensiones, procesos y escalas temporales muy alejadas de la experiencia cotidiana. Sin embargo, el balance entre los aspectos de la realidad que necesariamente recortan estos modelos y el rigor de los conceptos que deben transmitir es muy delicado y, frecuentemente, el fiel se inclina desfavoreciendo a éstos últimos.

Por ejemplo, para ilustrar las ideas de la tectónica de placas es muy generalizado



El interior de la Tierra.

el recurso de usar recipientes llenos con líquidos más o menos viscosos que, al ser calentados, pueden mostrar la formación de las celdas de convección. La realización mecánica de estas demostraciones lleva necesariamente al alumno a la conclusión errónea de que el interior terrestre está completamente fundido. La idea de un manto líquido e hirviendo y el empleo de metáforas tales como que “las placas y las zonas de subducción flotan o bucean” conducen a esta errónea y muy difundida interpretación. El geólogo insiste: “la realidad es que el manto sólido fluye en tiempos geológicos, fundamentalmente, por la presencia de un pequeño porcentaje de material fundido disperso en su seno, lo cual no puede interpretarse como la existencia de un manto completamente líquido y en estado de ebullición”. Una argumentación adecuada, para acotar el alcance del modelo que se presenta a los alumnos, puede ser la de comparar el porcentaje de agua en el suelo de un jardín cuando se lo riega. El agua ocupa los poros o espacios vacíos entre las partículas que forman el suelo hasta un treinta por ciento de su volumen y, sin embargo, nadie jamás diría que ese suelo mojado sea un líquido.

Los errores frecuentes acerca del estado físico del manto se sustentan en dos factores diferentes. Por un lado, todas las referencias que los textos hacen a los volcanes implican que éstos se alimentan directamente del manto, a la vez que definen que el magma y la lava son roca fundida y, en consecuencia, se encuentran en estado líquido. Un alumno seguramente inferirá que si el magma y la lava son roca fundida y vienen del manto, entonces el mismísimo manto también tiene que estar fundido. Muchas veces las ilustraciones con áreas coloreadas de rojo en las zonas de mayor temperatura favorecen esta confusión.

Para evitar las malas interpretaciones a las que pueden inducir modelos tales como las maquetas con líquidos que bullen

como recurso para ilustrar la convección en el manto, habría que enfatizar que los modelos —tanto los científicos como los pedagógicos— no son “un trozo de naturaleza que cabe en el aula o en el laboratorio”, sino sólo una herramienta simplificada de procesos que por sus características distintivas, tales como tamaño, tiempos y complejidad, no pueden ser analizados directamente. “Es necesario ayudar a los alumnos a comprender estas diferencias y a tomar en cuenta tanto los puntos en los cuales el modelo coincide con aquello que intenta modelar, como ¡los puntos en los cuales no coincide! Así, evitamos que lleguen a conclusiones inapropiadas o proyecten características que son exclusivas de la naturaleza”, opina Sellés-Martínez.

Sellés-Martínez recomienda: “En los mismos párrafos de los manuales o en las referencias donde aparece el modelo de las corrientes de convección desarrolladas en un líquido que es calentado, habría que establecer claramente que el manto es sólido. Asimismo, es muy útil agregar algunas explicaciones sobre las características de materiales tales como las siliconas y el alquitrán, que se comportan como sólidos y hasta se rompen cuando se los martilla, pero que, si se espera lo suficiente, puede apreciarse cómo fluyen bajo su propio peso”. En otras palabras, es fundamental instalar la idea de que los sólidos también pueden cambiar su forma y fluir como lo han hecho, por ejemplo, los vidrios de las catedrales medievales.

Derribando malos entendidos

Sellés-Martínez concluye que sería muy

auspicioso que los docentes adoptaran una batería de medidas pedagógicas para eludir los malos entendidos más difundidos. A saber:

enfatar las diferencias de escalas de espacio y tiempo y de geometría entre los modelos que se emplean en el aula y los fenómenos y procesos de la naturaleza. Explicar que, en ciencia formalizada, los modelos son necesariamente limitados y no reproducen exactamente toda la realidad. Aclarar que la materia sólida puede presentar poros llenos de fluidos y que éstos modifican drásticamente sus propiedades. Establecer los significados y las diferencias entre *sólido seco*, *sólido húmedo*, *parcialmente fundido* y *totalmente fundido*. Explicar que el manto sólido puede fluir en los tiempos geológicos y que también hay una proporción adecuada de fluidos en su interior. Enfatizar que, si bien los materiales pueden alcanzar su punto de fusión debido a las altas temperaturas, el manto no hierve. Aclarar que la inmensa mayoría de los terremotos no tienen relación directa con los movimientos de convección en el manto, y de ningún modo están vinculados a un inexistente estado de ebullición.

“Las ciencias de la Tierra merecen un espacio de mayor jerarquía en la enseñanza media y una planificación del sistema educativo que potencie la formación de los profesores y que, como en toda ciencia, privilegien el desarrollo de pensamiento crítico frente a la mera acumulación de datos”, opina Sellés-Martínez.

El viaje al centro del concepto del planeta Tierra debe involucrar cada vez a más aventureros del conocimiento. |