

La Tierra: una máquina viviente

Ramiro Tobón (*)
María C. Bernat
Ana María Duque
Constanza Díez
Colegio Jefferson (**)
Cali, Colombia



RESUMEN

Se presenta el desarrollo y aplicación experimental de una unidad curricular sobre terremotos y volcanes que pretende lograr, en las/os alumnas/os de 5º grado (11-12 años), una comprensión básica sobre la moderna teoría de tectónica de placas.

Introducción

En las dos décadas anteriores una buena parte del trabajo de investigación en didáctica de las ciencias se centró en la detección de preconceptos, ideas iniciales o preteorías de los alumnos de diversas edades. En este final de siglo el énfasis se ha desplazado hacia el desarrollo experimental de temas curriculares apropiados a las condiciones particulares de cada país y aun de cada centro educativo. La divulgación de experiencias a nivel nacional e internacional facilita la adaptación local de diversos temas curriculares. La experiencia que presentamos pretende ser una pequeña contribución a este esfuerzo colectivo internacional.

El tema de la experiencia es: terremotos y volcanes, y con ella se pretende responder preguntas como las siguientes:

¿Por qué ocurre un terremoto? ¿Por qué se forma un volcán? ¿Por qué ocurren más terremotos en ciertas regiones de la Tierra y menos en otras? ¿Qué debemos hacer en caso de terremoto y de erupción volcánica? etc.

Decidimos realizar esta experiencia buscando varias cosas: 1) lograr un mayor interés de las/os alumnas/os de 5º grado (11-12 años) en sus cursos de ciencias naturales; 2) buscar una comprensión básica de fenómenos naturales que pueden afectarnos directamente; 3) dar oportunidad a las/os alumnas/os para que se enfrenten a argumentaciones y debates propios de las ciencias naturales, y 4) relacionar los temas de la escuela con problemas y eventos conocidos en la sociedad.

La conexión Ciencia/Técnica/Sociedad es particularmente apropiada en este tema, por estar Colombia situada en una zona de

(*) Carrera 44 No. 5A-33, Cali, Colombia. Tel. (57-2) 553-6002

(**) Colegio Jefferson. A. aéreo 6621. Fax (57-2) 665-8337



alta sismicidad y de volcanes activos y en proceso de reactivación. En particular, la parte occidental del país está muy cercana a tres placas tectónicas: la de Nazca, la de Cocos y la del Pacífico, que se cuentan entre las más activas del mundo. Con frecuencia experimentamos eventos sísmicos y volcánicos, que han tenido consecuencias graves, como los de Tumaco, Popayán, Armero, Murindó, Pasto, el Huila, etc.

La experiencia se realizó por primera vez en el año lectivo 1992-1993, con una planeación inicial y un carácter exploratorio, estando preparados para suspenderla si se notaba que las/os alumnas/os no podían alcanzar lo que pretendíamos. Pero ello no ocurrió, sino que por el contrario vimos que se podía profundizar más en algunos aspectos. Lo logrado en el primer año ya fué reportado en Colombia (Tobón y otros, 1994); aquí vamos a referirnos a lo que se ha hecho en los dos años lectivos siguientes.

Marco teórico

Nuestro accionar está basado en una perspectiva didáctica entendida como una búsqueda de balance y de integración de aportes de diversos campos: 1) la ciencia misma, 2) la historia de la ciencia, 3) la filosofía de la ciencia, 4) la psicología cognitiva y 5) el entorno cultural y social. Pensamos que el surgimiento de la didáctica de las ciencias en la última década también ha sido una búsqueda de balance e integración entre estos aportes. Somos conscientes de que el peso relativo de los aportes puede variar según el tema que nos ocupe y, en este caso, la moderna teoría de las placas tectónicas se presta para seguir el hilo histórico del desarrollo de los conceptos.

Para el diseño de la unidad hemos encontrado útiles algunas recomendaciones

de Arons (1990), particularmente sus preguntas: ¿Cómo sabemos que ...? ¿Por qué creemos que ...? También utilizamos un esquema propuesto por Driver (1988) que en sus aspectos fundamentales coincide con otro planteado por Flor (1992). En forma muy resumida, las etapas del trabajo se pueden enunciar así: 1) determinación de los objetivos de la unidad curricular, 2) diseño básico de la unidad, 3) exploración y análisis de las ideas iniciales de las/os alumnas/os, 4) actividades de reestructuración o contrastación de las ideas iniciales, 5) construcción de una concepción alterna, 6) aplicación de las nuevas concepciones, 7) comparación frecuente de las concepciones logradas con las iniciales y 8) evaluación final.

Diseño de la experiencia

El punto de mayor preocupación en el diseño de la unidad tiene que ver con la naturaleza del tema escogido. No es posible realizar experiencias que muestren en forma directa la moderna teoría de placas tectónicas, pues este modelo se ha construido, en gran parte, con base en evidencia indirecta. Se vió la necesidad de dar a las/os alumnas/os información, pero había que procurar que tuvieran que razonar con dicha información, a fin de evitar una memorización sin comprensión.

Los objetivos principales, lo que queremos que las/os alumnas/os lleguen a realizar, son los siguientes.

- Lograr que construyan un modelo (mental) del interior de la Tierra y su dinámica, para comprender las causas de terremotos y volcanes.

- Comprender los fundamentos del proceso de construcción de modelos o teorías científicas, demandando coherencia lógica interna en los modelos construidos por las/os alumnas/os.

- Lograr una comprensión de la gravitación de la Tierra, dirigida siempre hacia su centro, así como de su proceso de formación.

- Familiarizarlos con las medidas de precaución que deben tomarse en caso de un terremoto o de una erupción volcánica.

Además de estos objetivos de conocimiento, también se definieron objetivos que tienen que ver con valores y que hacen parte del modelo adoptado por el Colegio Jefferson, que procura el desarrollo de la autonomía intelectual y moral de las/os alumnas/os.

Veamos en primer lugar las ideas iniciales de las/os alumnas/os y luego describiremos las actividades realizadas, agrupándolas en varios tipos y especificando la secuencia que se siguió.

Ideas iniciales de las/os alumnas/os

Para indagar sobre las ideas iniciales de las/os alumnas/os se formularon dos preguntas: ¿Por qué ocurre un terremoto? ¿Qué es y por qué se forma un volcán? Las respuestas debían ser lo más completas posible y podían incluir dibujos, modelos, etc., y, además, debían estar preparados para hacer una presentación a todo el grupo y discutirla con él.

Hubo una dispersión grande en las respuestas, algo que no es sorprendente. Se mencionaron rocas y placas tectónicas como entes diferentes, mostrando que las/os alumnas/os habían leído y oído algo sobre terremotos y volcanes. Algunas respuestas son casi de tipo animista, en el sentido de que la Tierra, las placas tectónicas y aún los planetas se *desorganizan* y cuando buscan reorganizarse se produce un terremoto. Damos algunos ejemplos de esas ideas iniciales:

- Hay siete grandes rocas debajo de la corteza, que se mueven alrededor de la Tierra y cuando se chocan producen un terremoto; si pasan una junto a la otra producen un temblor.

- Un terremoto se produce porque la Tierra está muy caliente y esto ocasiona un movimiento duro. También puede ser que la Tierra está en mala posición y se mueve de lado a lado para acomodarse. La mala posición se debe a que la Tierra está rotando y cuando rota probablemente hace un mal movimiento.

- Un terremoto ocurre por choque de la Tierra con otro planeta que se descontrola. No destruye todo porque choca muy despacio.

- El terremoto puede ocurrir por la erupción de un volcán y por la cosa que está en el centro de la Tierra, que es una placa y que no está organizada.

- Cuando las placas se mueven para organizarse, se separan, la lava sale a través de ese hueco y el volcán erupciona.

- Un volcán es una caverna en la cual hay magma: rocas fundidas, líquidos y éstos necesitan oxígeno, por tanto necesitan salir.

- Un volcán es una montaña localizada en un sitio especial, fertilizado de manera que el volcán pueda crecer. Y explota y hace un festival de color.

- No hay ninguna conexión entre los volcanes y los terremotos. La lava dentro de la Tierra se debe a que cuando llueve el agua penetra al suelo, se mezcla con las rocas y forma la lava que sale por los volcanes.

- Cuando la Tierra se formó era lava, empezó a enfriarse y se formaron las placas tectónicas, que flotan en el magma que hay dentro de la tierra. Cuando una de estas placas se mueve lo hace con una parte del continente que está sobre ella y así se produce un terremoto.

La última cita muestra una concepción que se aproxima a la de la ciencia, pero

que no fue aceptada por la mayoría de las/os alumnas/os. Las ideas iniciales se resumieron en carteleras que mostraban las similitudes y las diferencias entre ellas. La presentación de las ideas de cada alumna/o y su discusión marca el inicio de un cuestionamiento a sus ideas iniciales, por sus pares. Las maestras se limitaban, en esta etapa, a alimentar la discusión y a puntualizar puntos de acuerdo y de desacuerdo para colocarlos en los cuadros de resumen.

Principales actividades

Presentamos las actividades realizadas, agrupadas en tres categorías y luego daremos información sobre la secuencia que se utilizó. Las tres categorías son: *Fundamentación*, es decir, actividades que contribuyen a dar coherencia a la teoría que se quiere construir. *Modelaje*, que se refiere a la construcción de modelos físicos (maquetas) por parte de las/os alumnas/os, que les ayudaran a visualizar diferentes aspectos. *Información*, que se fué dando en forma dosificada y por diversos medios.

En la categoría de *Fundamentación* se hicieron las siguientes actividades:

1. Un taller sobre gravitación encaminado a lograr una primera conceptualización de un campo gravitacional dirigido hacia el centro de la Tierra. Para esto se utilizaron varias preguntas tomadas de Nussbaum (1985).

2. Una animación de la NASA sobre la formación del sistema solar, por condensación de una nebulosa formada por gases, rocas y polvo, y una secuencia sobre la formación y evolución de Mercurio.

3. Una fundamentación geográfica, pues se sabía que las/os alumnas/os no tenían el suficiente conocimiento geográfico, para poder ubicar sitios de especial interés para la discusión. Esto incluyó el manejo

de coordenadas geográficas: latitud y longitud.

Las actividades de *Modelaje* fueron las siguientes:

4. Construir, con datos suministrados por las maestras, un modelo tridimensional, a escala, del interior de la Tierra con sus tres zonas principales: núcleo, manto y corteza. El principal fin de esta actividad era lograr una visualización de los espesores relativos de las tres zonas.

5. Ubicar los continentes en el modelo tridimensional de la Tierra que ya habían construido.

6. Se les dieron las coordenadas de epicentros de algunos terremotos recientes y de algunos volcanes, que debían ubicar primero en un mapamundi plano y trasladar luego al modelo tridimensional.

7. A partir de siluetas de los continentes (sin ningún rótulo) ensamblarlos para ver si la propuesta hecha por un señor Alfred Wegener podía tener alguna base. Comparar el resultado de su "rompecabezas" con el de Wegener.

8. Representación a escala de los 4.600 millones de años de existencia de la Tierra, dividida en los diferentes períodos geológicos, e ilustrada con dibujos apropiados. Ampliación de la escala anterior para los últimos 250 millones de años.

9. Construcción de maquetas que representen los diversos tipos de movimientos relativos de las placas tectónicas.

Las fuentes de *Información* que se utilizaron fueron las siguientes:

10. Textos que dan una información condensada, pero correcta y completa, de la hipótesis de la deriva continental de Alfred Wegener, bien ilustrados con mapas y dibujos. En los mismos textos consultaron también la evidencia que se fué acumulando, después de la segunda guerra mundial, sobre: cadenas de montañas bajo los océanos, edad de rocas y de cilindros tomados del fondo del mar, magnetización

de las rocas, que condujeron a la idea del despliegue de los fondos oceánicos y a la moderna teoría de placas tectónicas.

11. Presentación de una secuencia de la serie COSMOS, en la cual Sagan muestra cómo Eratóstenes determinó la circunferencia de la Tierra.

12. El primer capítulo de la serie de televisión *Planeta Tierra*, titulado: "La Tierra: Una Máquina Viviente", que presenta una gran cantidad de información sobre la historia de la geología, excelentes simulaciones hechas por computador del movimiento de placas tectónicas y tomas de volcanes en erupción.

13. Durante el desarrollo de la unidad las/os alumnas/os y las maestras estaban atentos a recortar toda la información que apareciera en la prensa sobre terremotos, erupciones volcánicas, "tsunamis", etc. También a las imágenes de los noticieros de televisión sobre cualquier evento de este tipo.

14. Se leyó y discutió en detalle una cartilla sobre qué hacer en caso de terremoto y de erupción volcánica, elaborada por organismos gubernamentales.

15. Las/os alumnas/os trabajaron en pequeños grupos profundizando sobre algunos subtemas de esta unidad, para presentar sus resultados en la Feria de la Ciencia que el Colegio realiza anualmente y a la cual asisten los padres.

La secuencia que se utilizó fue: 1, 2, 4, 3, 5, 6, 7, 10 (Wegener), 11, 12 (primera parte), 10 (tectónica de placas), 8, 9, 12 (todo el vídeo), 13, 14 y 15. El desarrollo de la unidad toma entre 4 y 5 meses del año escolar.

Comentarios a las actividades

Es conveniente hacer una serie de comentarios sobre las actividades, para que el lector pueda ubicarlas mejor en el contexto de la experiencia que se realizó.

La actividad 1 tuvo como objetivo principal el de relativizar las nociones *arriba* y *abajo*, para movilizar a las/os alumnas/os de un contexto local a otro espacial. Como se dijo antes, se utilizaron cuatro preguntas de Nussbaum (1985), pero aplicadas una a una, con una discusión extensa sobre las respuestas obtenidas. Esto permitió seguir con buen grado de detalle el avance de las/os alumnas/os, a medida que se progresaba de una pregunta a la siguiente.

Muchas respuestas mostraron una identificación de la gravitación con el magnetismo, que fue necesario discutir, haciendo notar que los imanes atraen a muy pocos materiales, mientras la Tierra atrae a todos los objetos. También se presenta mucho la idea de que la gravitación se debe a algo que hay en el centro de la Tierra. Aquí se recurrió a argumentos de simetría, mostrando que todas las partes de la Tierra atraen a un objeto, pero que el resultado combinado de estas atracciones está dirigido hacia el centro. La terminología utilizada en los medios de comunicación, y aun por organismos como la NASA, siembra la idea de que la gravitación existe sólo en la superficie de la Tierra, o que no llega más arriba de la atmósfera. En este caso la argumentación se focalizó hacia la rotación de la Luna alrededor de la Tierra, debida a la atracción gravitacional de la Tierra.

La actividad 2 daba información sobre la formación de los planetas del sistema solar, por la atracción gravitacional recíproca de las diversas partes de la nebulosa que sirvió de origen al sistema. Los choques entre los trozos de rocas produjeron calentamiento que elevó la temperatura hasta fundir las rocas. Este punto es importante para poder entender luego el poco espesor de la corteza y la existencia de lava dentro de la Tierra, cuyos movimientos (en el núcleo y la manta) dan lugar a la dinámica que mueve las placas tectónicas.

En síntesis, esta actividad estaba enfocada a encontrar una respuesta a la pregunta: ¿Por qué la Tierra (y los planetas interiores) fue una masa fundida en sus orígenes?

La actividad 4 les permitió a las/os alumnas/os visualizar los espesores relativos de las capas de la Tierra. Muchos se sorprendieron del poco espesor de la corteza, comparado con las otras dos capas. Más adelante, cuando llegaron a las ideas de Alfred Wegener, sin ninguna sugerencia de las maestras, decían: "la corteza es tan delgada que se rompe como una cáscara de huevo".

Las actividades 3, 5, 6 y 7 permitieron un aprendizaje geográfico, puesto en acción para poder realizar tareas específicas, para las cuales ya había una motivación, aun cuando no se conociera completamente lo que las maestras pretendían. La actividad 6 suscitó inmediatamente una sorpresa y dos preguntas: ¿Por qué los terremotos ocurren con mayor frecuencia en unas zonas de la tierra? ¿Por qué hay muchas partes de la Tierra que no tienen volcanes y otras que tienen muchos?

Después de realizar la actividad 7, la lectura sobre la hipótesis de Wegener (actividad 10) adquirió una significación especial, como se evidenció en las discusiones sobre estos temas. La lectura también incluyó los argumentos que Wegener utilizó para apoyar su hipótesis y las razones que llevaron a la comunidad científica a no aceptar las ideas de Wegener, principalmente por no poder proponer una fuerza o un mecanismo físico, capaz de mover continentes, sobre lo que se consideraba una corteza bastante rígida.

Estas discusiones permitieron a las/os alumnas/os darse cuenta de que la ciencia no consiste en lanzar hipótesis, sino que se demanda una coherencia lógica interna en esas hipótesis. Es seguramente el primer encuentro con lo que podríamos llamar "criterios de verdad en la ciencia".

La información sobre la medición de la circunferencia de la Tierra por Eratóstenes (actividad 11) se dió porque complementaba lo realizado hasta ese momento y para coadyuvar en el trabajo que se estaba realizando en ciencias sociales, sobre los conocimientos de los griegos.

Los textos (actividad 10) incluían también una buena discusión sobre las evidencias que se fueron acumulando desde Wegener, y particularmente a partir del Año Geofísico Internacional (1957-58), y que hicieron entrar en crisis algunas creencias que se tenían sobre la estructura de la Tierra y la antigüedad de sus capas. En particular, fue grande la sorpresa de los científicos al descubrir que las rocas de los fondos oceánicos son muy jóvenes (no más de 180 millones de años), cuando se creía que el fondo del oceano era parte de la corteza inicial de la Tierra y que, por lo tanto, debía tener del orden de 3.600 a 3.800 millones de años.

El concepto del despliegue de los fondos oceánicos y de la afloración de magma en los riscos oceánicos provee el mecanismo físico que Wegener no pudo aportar, capaz de mover continentes enteros. Las discusiones generadas por las lecturas y los videos, permitieron insistir en que la moderna teoría de placas tectónicas aporta una explicación coherente y lógica de la deriva continental, de la existencia de los volcanes preferencialmente en ciertas partes del mundo y no en otras, así como de la mayor frecuencia de terremotos en unas regiones que en otras. Se dieron datos del porcentaje de terremotos fuertes (grado 6 o mayor en escala de Richter) que se presentan en el llamado "cinturón de fuego" del Pacífico y sobre la localización y movimientos de las placas tectónicas más cercanas a Colombia.

Los videos refuerzan todo lo leído y aportan imágenes que son muy importantes para estas nuevas generaciones que

son audiovisuales desde la cuna. En particular el capítulo 1 de la serie Planeta Tierra sigue el desarrollo histórico de los conceptos sobre la Tierra, desde el surgimiento de la geología. Hay que tener cuidado con el uso de vídeos, pues tienden a favorecer una actitud pasiva de los videntes. Esto se evitó con la cuidadosa preparación previa para cada vídeo y con la exigencia de tomar nota de las preguntas que les surgieran de la observación del mismo.

Se enfatizó que pese a sus éxitos, la teoría de placas tectónicas aún no es capaz de predecir la ocurrencia de terremotos y erupciones volcánicas, pues sólo nos da los mecanismos básicos para explicar estos fenómenos a escala global. Llegar a una predicción confiable requeriría la acumulación de mucha información experimental, difícil de obtener, por ejemplo: datos sobre la acumulación de tensiones en bordes de placas tectónicas y de la composición de las rocas, que permitieran estimar cuando la tensión llegará al punto de fraccionar esas rocas.

Seguimiento y evaluación

El avance de las/os alumnas/os se siguió a través de todo el tiempo del desarrollo de la unidad. Las maestras les exigían ir anotando sus respuestas a las preguntas, los resultados de sus discusiones y las comparaciones que hacían con las ideas iniciales. Se tomaron muestras de los cuadernos de las/os alumnas/os para hacer análisis más detallados.

Se aplicaron dos tests, uno a la mitad de la unidad y otro al final, cuyos resultados se tabularon para toda la población y no para una muestra. Estos tests se hicieron con preguntas de múltiple opción, pero no totalmente cerradas, sino dejando siempre una opción en la cual la/el alumna/o podía dar otra respuesta no contemplada en las

opciones dadas. Los “distractores” provenían de ideas o concepciones detectadas en el seguimiento y por tanto permitían cuantificar el número de alumnas/os que habían logrado reestructurar sus concepciones. Los resultados de estas pruebas se discutían con todas /os las/os alumnas/os y se daba atención individual a las/os alumnas/os que mostraban dificultades.

Teníamos claro que habría una diferencia entre el conocimiento científico sobre las placas tectónicas y el conocimiento escolar que se lograría al final de esta unidad. No se trataba de convertir a las/os alumnas/os en geofísicos o sismólogos, sino de buscar el mayor grado de aproximación posible entre las concepciones de la ciencia y las de las/os alumnas/os. El postest se hizo de tal manera que sólo una persona con un conocimiento bastante completo del tema podría responder correctamente todas las preguntas; tratábamos, pues, de medir, con esta prueba, el grado de aproximación logrado entre el conocimiento científico y el conocimiento escolar. Es de anotar que los resultados de los tests no se utilizaron para dar notas o calificaciones a las/os alumnas/os, sino como instrumentos de seguimiento y evaluación de la unidad curricular.

Los resultados del postest se reportan en forma global en la Tabla 1. Es de notar que el 75.5% de las/os alumnas/os respondieron correctamente más del 60% de las preguntas del postest. Sobre un total de 25 preguntas, la media de respuestas correctas fué de 16.7, con una desviación estándar de 3.5.

Consideramos estos resultados bastante satisfactorios, sin que ello implique que no se puedan mejorar en el futuro. Sería interesante aplicar esta unidad curricular a estudiantes de grados superiores al 5º, y ver si los resultados son mejores. En nuestras condiciones no es posible hacer esto, pues este tipo de temas no se retoma en los cursos superiores.

Nº de preguntas correctas	Nº de estudiantes	%
0 - 9	2	2.6
10 - 14	17	21.8
15 - 19	42	53.9
20 - 22	17	21.8
Totales	78	100.1

Tabla 1. Resultados globales del postest.

Para los autores sería muy interesante conocer experiencias similares realizadas por colegas en otros países y poder intercambiar materiales más extensos. A los potenciales corresponsales podríamos enviarles detalles sobre la unidad, los tests o cualquier otra información que se desee.

Agradecimientos

Dejamos constancia de nuestra gratitud con el Colegio Jefferson, por habernos permitido realizar esta experimentación curricular y por apoyar todo el proceso en forma permanente.

REFERENCIAS

- ARONS, A.B. (1990). *A Guide to Introductory Physics Teaching*. New York: John Wiley & Sons.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), 109-120.
- FLOR, J.I. (1992). *Recursos para la investigación en el aula*. Sevilla: Díada.
- NUSSBAUM, J. (1985). The Earth as a cosmic body. En R. Driver, E. Guesne, A. Tiberg-hien (Eds.), *Children's ideas in science*. London: Open University Press. En español, *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata, 1989.
- TOBON, R., BERNAT, M.C., DUQUE, A.M., DIEZ, C y PELAEZ, C. (1994). La Tierra: Una Máquina Viviente. *Alegría de Enseñar*, 18, 18-27.

SUMMARY

The development and experimentation of a curriculum unit about earthquakes and volcanoes is presented. Its main objective is to achieve, in the students, 5th grade (11-12 years), a basic understanding of the modern theory of plate tectonics.

RÉSUMÉ

On présente le développement et l'expérimentation d'une unité curriculaire qui verse sur séisme et volcâneaux. Le but c'est que les étudiants, (11-12 annés), ont un comprêhenston basique sur la théorie moderne des plaques tectoniques.