

# Lo que está bajo nuestros pies

Paula C. de A. Maria Castelhana<sup>1</sup>, Patrícia A. C. Fialho Azinhaga

*Externato Cooperativo da Benedita, Leiria, Portugal*

<sup>1</sup> [paulacastelhana@gmail.com](mailto:paulacastelhana@gmail.com)

[Recibido en marzo de 2010, aceptado en diciembre de 2010]

En este trabajo se pretende demostrar cómo el estudio del comportamiento de las ondas sísmicas llevó a la construcción del modelo físico de la estructura interna de la Tierra en diferentes capas concéntricas. Los modelos analógicos en educación de la ciencias son instrumentos esenciales que hacen los conocimientos científicos más comprensible, facilitando la comprensión de conceptos abstractos y favoreciendo así el interés de los estudiantes.

**Palabras clave:** Ondas sísmicas; Refracción; Reflexión; Estructura interna de la Tierra; Modelos analógicos.

## What is under our feet

Our aim in this work is proving how the study of the behaviour of seismic waves led to the construction of the physical model of the internal structure of the Earth in different concentric layers. The analogue models in science education are essential tools that make scientific knowledge more intelligible and plausible, facilitating the understanding and visualization of abstract concepts and may promote thereby the interest of students.

**Keywords:** Seismic waves; Refraction; Reflection; Inner structure of the Earth; Analogical models.

## O que está por baixo dos nossos pés

In iste trabalho se pretende demonstrar de que forma o estudo do comportamento das ondas sísmicas permitiu a construção do modelo físico da constituição interna da Terra, em diferentes camadas concêntricas. Os modelos analógicos no ensino das ciencias são ferramentas cruciais que tornam o conhecimento científico mais inteligível e plausível, facilitando a compreensão e visualização de conceitos abstractos, podendo promover, deste modo, o interesse dos alumnos.

**Palavras-Chave:** Ondas sísmicas; Refracção; Reflexão; Estrutura interna da Terra; Modelos analógicos.

## Introducción

La ciencia debe presentarse como un conocimiento en construcción, concediendo particular importancia al modo de producción de estos conocimientos, reforzando la idea de un conocimiento científico en cambio y explorando, al nivel del aula, la naturaleza de la ciencia y de la investigación científica. De este modo el aprendizaje de las ciencias ha de entenderse como un proceso activo en el que el alumno desempeña el papel principal de constructor de su propio conocimiento.

Puesto que no es fácil motivar a los alumnos para el estudio de una ciencia en la que los fenómenos, a pesar de ser actuales, ocurren en una escala de tiempo imperceptible, surge el desafío de encontrar estrategias que desarrollen capacidades cognitivas, procedimentales y actitudinales, mediante el planteamiento de situaciones problema, que conduzcan a prácticas experimentales, en las cuales los alumnos tienen un papel participativo, fundamental en ciencia y decisivo en el aprendizaje de las geociencias.

La actividad que se presenta en este trabajo está dirigida a los alumnos de la educación secundaria obligatoria, el bachillerato y la formación profesional de grado medio, y comprende la elaboración de un modelo analógico para la estructura y la dinámica interna de la Tierra, en capas concéntricas, basado en las propiedades físicas de los materiales. Esta es una herramienta de gran utilidad didáctica, pues además de ser de fácil manejo, ayuda en la

comprensión, simplificando conceptos abstractos en conceptos simples. La experiencia se centra en procedimientos de realización sencillos y de bajo costo a través de los cuales es posible simular fenómenos geofísicos; los materiales que se emplean son botellas de plástico de diferentes diámetros, aceite alimenticio, agua de cal, gelatina de piña, plastilina, caja de papel (40 cm × 40 cm) y puntero láser. A lo largo de la actividad deberán surgir cuestiones tales como, por ejemplo, ¿cuál es el comportamiento de los rayos en los medios que atraviesan? ¿Qué propiedades pueden influir? ¿Qué son la reflexión y la refracción? Se pretende observar y constatar que la trayectoria de los rayos láser está sujeta a alteraciones, siempre que las características de medio en el que se propagan sufren modificaciones. Así, son precisamente estos fenómenos (reflexión y refracción) los que explican el hecho de que las ondas alcancen la superficie terrestre de forma desigual, originando para cada sismo una zona de sombra, es decir, una zona donde no se propagan ondas P y S directas y, consiguientemente, no se manifiesta actividad sísmica (Silva *et al.* 2008).

## Fundamentos teóricos

Se considera que una de las características fundamentales del pensamiento humano es su capacidad para establecer correlaciones entre el dominio desconocido y el dominio familiar. Esta conducta desempeña varios papeles en el sistema cognitivo humano: se utiliza en las actividades de comunicación, para favorecer la comprensión; las actividades de aprendizaje, para adquirir nuevos conceptos; las actividades creativas, para producir nuevas ideas; y las actividades de raciocinio, para resolver problemas. Esta pluralidad de funciones lleva a que las analogías sean consideradas herramientas didácticas importantes en el aprendizaje de temas científicos complejos.

La aplicación de modelos físicos analógicos, común en la enseñanza de las Geociencias, deberá realizarse con precaución, una vez que, por las características del propio conocimiento geológico, surgen, normalmente, problemas de escala, de representatividad de los materiales y de velocidad de los procesos. Se aconseja, por esto, que el recurso a los modelos se acompañe de una discusión de las hipótesis subyacentes, de una aprehensión de sus limitaciones y de una validación crítica de los resultados asociada a una comparación con datos reales.

El profesor ha de tener siempre en consideración que los conocimientos previos de los alumnos condicionan su aprendizaje, necesitándose establecer conexiones entre los conceptos y los modelos explicativos que los alumnos poseen y los nuevos conocimientos (Santos 1991).

La historia de la Tierra es muy antigua. Una historia que se desarrolla desde hace casi 4600 millones de años y sobre la que, desde siempre, el hombre se preguntó. La Geología y otras disciplinas han contribuido a las respuestas de muchas cuestiones.

Es propio de una falsa ciencia que no descubra nunca lo que es falso, ni nunca reconozca la necesidad de renunciar a lo que fue, ni nunca cambiar de lenguaje. Aquello que hoy es imposible, mañana será de sentido común.

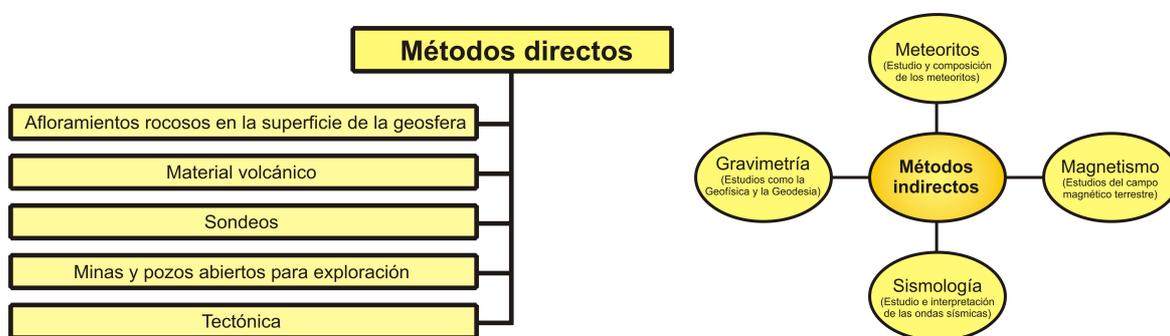
Es difícil estudiar la estructura interna de la Tierra únicamente mediante la observación directa. Según el Laboratorio Nacional de Energía y Geología (LNEG), actualmente el hombre ha conseguido realizar observaciones directas hasta cerca de 7 km de profundidad en minas de diamantes de África del Sur, y en perforaciones que llegarán hasta los 12 km (INETI 2007).

Los científicos están obteniendo cada vez más datos que prueban que algunos procesos que se producen a miles de kilómetros de profundidad son los causantes de algunos elementos singulares del relieve terrestre. Todavía quedan algunas incógnitas acerca del funcionamiento

de nuestro planeta. Buena parte de las respuestas están en su interior, en el manto terrestre, esa enorme capa interna que ocupa algo más del 80% de su volumen total (Alfaro 2011).

El esquema los diversos métodos directos de estudio de la Geosfera aparece en la parte izquierda de la figura 1. El conocimiento sobre el interior de la Tierra se desarrolló con los métodos indirectos de estudio que se muestran en la parte derecha de la figura 1.

La estructura interna de la Tierra es bastante compleja, consiguiéndose apenas percibir cómo está formado el interior de la Tierra a partir de los métodos indirectos del estudio del interior de la geosfera, no existiendo ninguna tecnología que consiga soportar las condiciones extremas existentes en el interior de la Tierra. Los rayos sísmicos, al igual que los rayos luminosos, sufren reflexión y refracción al pasar de un medio a otro de características físicas diferentes. Para ángulos de incidencia superiores al valor del ángulo crítico, el rayo sísmico sólo se refleja. Para valores inferiores al valor del ángulo crítico, el rayo sísmico se refracta y se refleja, tal como se ilustra en la figura 2.

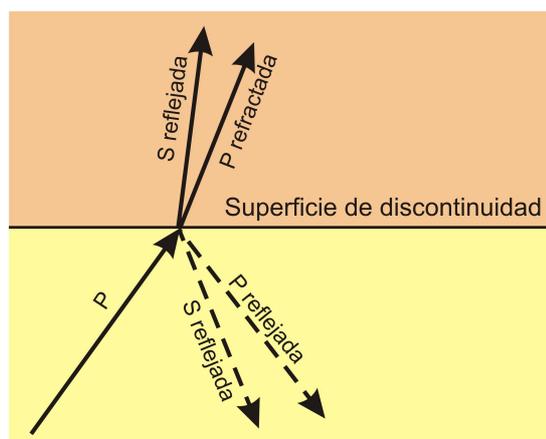


**Figura 1.** Esquemas donde se muestra los diferentes métodos directos (izquierda) e indirectos (derecha) que contribuyen al estudio de la Geosfera.

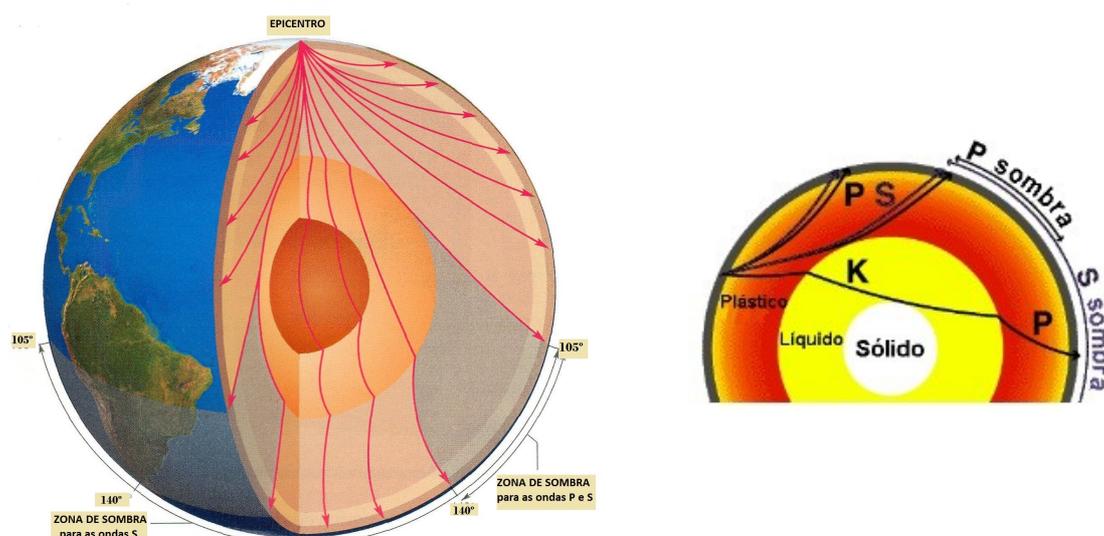
En sismología, la superficie de separación entre dos medios con propiedades físicas diferentes se denomina discontinuidad. Las trayectorias de las ondas P y S son curvilíneas. Como la Tierra es heterogénea, se admite que las ondas sísmicas atraviesan medios con propiedades físicas diferentes.

Son precisamente estos fenómenos de reflexión y de refracción los que explican el hecho de que las ondas lleguen a la superficie terrestre de modo desigual, originando para cada seísmo una zona de sombra, es decir, una zona donde no se propagan ondas P y S directas y, consiguientemente, no se manifiesta actividad sísmica (figura 3).

Teniendo en cuenta la composición y la rigidez de los materiales que constituyen el interior de la Tierra, se elaboraron algunos modelos para representar su estructura, entre los cuales están el modelo químico y el modelo físico del interior de la geosfera. El primero tiene como base la composición de los materiales existentes en el interior de la geosfera, mientras que el segundo considera la rigidez de los materiales mencionados anteriormente.



**Figura 2.** Esquema que representa los posibles comportamientos de una onda P, en una superficie de discontinuidad entre dos medios sólidos (Web1 2010).



**Figura 3.** Esquema en el que se muestra las zonas de sombra marcadas por el comportamiento de las ondas S y P a la profundidad de 2900 km (límite de la zona representada en amarillo) y 5150 km (límite de la zona representada en blanco), así como como los diferentes estados físicos de las sucesivas capas concéntricas de la Tierra, deducidos a partir de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas (Web2 2010).

## Procedimiento de construcción

La experiencia se centra en procedimientos de realización sencillos y de bajo coste a través de los cuales es posible simular fenómenos geofísicos. Para ello se empleará botellas de plástico de diferentes diámetros, aceite alimenticio, agua de cal, gelatina de piña, plastilina, caja de papel (40 cm × 40 cm) y puntero láser. A continuación se detallan los pasos a seguir.

1. Se cortan las botellas de plástico, de fondo redondo y de diferentes diámetros, con aproximadamente 8 cm de altura.
2. Se colocan los diferentes fondos de las botellas unos en el interior de los otros; se puede fijar cada fondo de botella con un poco de plastilina.
3. Se depositan las sustancias en cada recipiente: gelatina (en primer lugar), aceite alimenticio, agua, bolas de gel...
4. Se coloca boca para abajo la caja de papel, es decir, su fondo estará en la parte superior, y se corta en la base un rectángulo de 12 cm de ancho por 2 cm de largo, que estará centrado en la caja; en una de las caras laterales (la más estrecha) se corta un cuadrado de aproximadamente 5 cm × 5 cm, que también estará centrado, pero en la parte inferior de la caja.

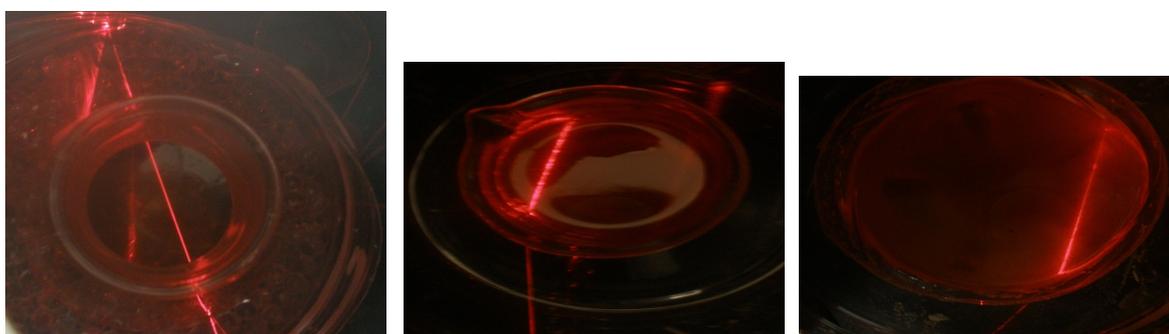
Algunos de los materiales necesarios para realizar la actividad aparecen en la figura 3.

5. Se coloca la caja encima de los recipientes de plástico y se dirige la luz del puntero láser hacia los recipientes, a través de la abertura que hay en la base de la caja; por la abertura rectangular, situada encima de la caja, se observa el comportamiento del rayo láser. La figura 4 contienen varias imágenes de la trayectoria seguida por el láser.

A los alumnos de les pide que observen y tomen fotografías. Seguidamente se les pregunta sobre el comportamiento de las ondas sísmicas cuando encuentran materiales de diferentes densidades. Por último, se pide a los alumnos que preparen un informe V de Gowin (Trowbridge y Wandersee 2000).



**Figura 3.** Algunos de los materiales utilizados en la elaboración de la actividad práctica.



**Figura 4.** Fotografías en las que se aprecia las trayectorias del rayo láser en el modelo analógico de la estructura interna de la Tierra.

### Orientaciones didácticas

A lo largo de la actividad han de surgir cuestiones tales como, por ejemplo: ¿cuál es el comportamiento de los rayos en los medios que atraviesan?, ¿qué propiedades pueden influir en este comportamiento?, ¿qué son la reflexión y la refracción?

Se pretende observar y constatar que la trayectoria de los rayos láser está sujeta a alteraciones, siempre que sufran modificaciones las características del medio en el que se propagan. ¿De qué modo el modelo expuesto representa la realidad? ¿Cuáles son sus limitaciones? Así, son precisamente estos fenómenos (reflexión y refracción) los que explican el hecho de que las ondas lleguen de forma desigual a la superficie terrestre, originando para cada sismo una zona de sombra, donde no se propagan las ondas P y S directas y donde, consiguientemente, no se manifiesta actividad sísmica.

Antes de realizar la actividad práctica, conviene visionar con los alumnos vídeos que ilustren conceptos y escenas inherentes a la temática que se está estudiando. A modo de ejemplo, a continuación se citan algunos de los vídeos que vimos con nuestros alumnos.

Ondas sísmicas: <http://www.youtube.com/watch?v=o2KEir8XIAI>

Propagación de ondas: <http://www.youtube.com/watch?v=yOGoKCK17a4&feature>

Dentro de la tierra: <http://www.youtube.com/watch?v=3xLiOFjemWQ&feature>

Ondas sísmicas: <http://www.youtube.com/watch?v=14SIvKH1kLo>

## Consideraciones finales

Resulta fundamental abordar la enseñanza de la Geología desde situaciones concretas, habituales en la vida cotidiana de los alumnos, que puedan observar, o que les sean familiares; también dejarse claro que los modelos no son modelos vivos, o sea, que no representan exactamente la realidad (Bonito 2000). Según Santos (1991), los conocimientos que a primera vista parecen rigurosos, lógicos y bien estructurados (pero que a penas resultan de una mezcla de conceptos), en la primera oportunidad, se sustituyen por concepciones alternativas que continúan latentes y con su lógica propia. Hay que guiar al alumno para que reemplace el sistema estructurado de sus concepciones. Hay que proporcionarle oportunidades de llamar, progresivamente, a consciencia y de criticar la cultura elemental de la que es portador a fin de poder salir del reino de la ciencia fácil y entrar en el reino de la ciencia difícil, en el “tiempo de las iniciaciones viriles” como también lo denomina Bachelard.

Así, por ejemplo, la concepción de una ruta geológica, puede constituir un punto de partida, que permita el recurso al trabajo de campo, para observación local de las diversas litologías y recogida de muestras, para el posterior trabajo de aula. Esta práctica permite establecer relaciones al nivel de los diferentes contenidos programáticos y profundizar las temáticas correspondientes, teniendo en cuenta la edad de los alumnos.

Esta metodología permite que la Geología deje de ser percibida como una disciplina distante e inaccesible, pudiendo ser considerada como un área científica muy próxima, presente en casi todo lo que nos rodea. Así, el aprendizaje de las ciencias, requiere la (re)construcción de contenidos científicos por medio de estrategias didácticas adecuadas a la enseñanza (Galagovsky y Adúriz-Bravo 2001).

## Referencias

- Bonito J. (2000) *As actividades práticas no ensino das Geociências. Um estudo que procura a conceptualização*. Lisboa. IIE.
- Galagovsky L., Adúriz-Bravo A. (2001) Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de Modelo Didáctico Analógico. *Enseñanza de las Ciencias* 19 (2), 231-242.
- Alfaro P. (2011) Un modelo para el funcionamiento del interior terrestre y su interacción con la superficie. *Alambique* 67 (1), 20-27.
- INETI (2007) Vamos mexer nos continentes. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação [http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/guiao\\_tectonica\\_placas/indice.htm](http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/guiao_tectonica_placas/indice.htm)
- Santos M. (1991) *Mudança conceptual na sala de aula: um desafio pedagógico*. Lisboa. Livros Horizonte.
- Silva J. C., Ribeiro E., Oliveira O. (2008) *Desafios: Geologia*. Rio Tinto. Edições ASA.
- Web1 (2010) [http://domingos.home.sapo.pt/estruterra\\_3.html](http://domingos.home.sapo.pt/estruterra_3.html). Consultado el 20.02.10.
- Web2 (2010) <http://www.google.com/search?hl=pt-PT&biw=1024&bih=545&gbv=2&site=search&tbm=isch&sa=1&q=modelo+da+Terra&btnG=Pesquisar&aq=f&aql=&oq=>. Consultado en 20 de febrero de 2010.