

UNA PROPUESTA DIDACTICA PARA CONOCER LA ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

A didactic proposal to know the internal structure of the earth

Francisca Valenzuela (1), Patricia Alvarado (2) y Alejandra Malberti (3)

RESUMEN

Este trabajo constituye una propuesta didáctica para la construcción del conocimiento de la estructura interna de la Tierra en la Educación Secundaria Obligatoria, desde un enfoque de la didáctica de la ciencia, que se apoya principalmente en los aportes de la historia de la ciencia.

ABSTRACT

This paper is intended to provide a didactic proposal for the building of knowledge on the internal structure of the Earth in Secondary School. This proposal is based on a science didactic perspective, which mainly follows the science history contributions.

Palabras clave: *Historia de la ciencia, didáctica de la ciencia, estructura interna de la Tierra.*

Keywords: *Science history, didactics of science, internal structure of the Earth.*

1. INTRODUCCIÓN

La estructura interna de la Tierra es uno de los tantos ejemplos que muestran cómo los conocimientos científicos han ido cambiando a lo largo de la historia de la ciencia, el rol que la visión cosmogónica de cada época desempeñó en la concepción del interior de la Tierra y la estrecha relación entre la verificación de ciertas hipótesis y los avances tecnológicos.

Las reflexiones se hacen desde un enfoque de didáctica de la ciencia que tiene como pilar fundamental a la historia de la ciencia. Si bien, este enfoque tiene cada vez mayor importancia en las publicaciones relacionadas con la enseñanza de las Ciencias, generalmente no se contempla en las prácticas de aula. No obstante, el uso de la historia de la ciencia en el desarrollo de estrategias permitirá, tanto a alumnos como docentes, entender su dinámica y naturaleza, contemplándose de este modo una visión abierta, histórica y problemática de la misma, en contraposición con la visión rígida y elitista que antes se tenía.

El presente trabajo está enmarcado en el proyecto "Identificación y Valorización Del Patrimonio Geológico de la Provincia de San Juan, su Proyección Científica, Cultural, Educativa y Turística" (de-

sarrollado en el 2003 en la Universidad Nacional de San Juan, Venezuela), y tiene sus orígenes en la búsqueda de obstáculos cognitivos y/o pedagógicos que surgen en la construcción de conceptos geológicos en la Enseñanza Secundaria. El mismo, resulta una alternativa para abordar el conocimiento del interior de la Tierra, a partir de los sismos, fenómenos familiares en esta provincia.

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO:

La propuesta que aquí se presenta, parte de la hipótesis que los alumnos han alcanzado las nociones inherentes a ondas sísmicas. Si bien este tema no se aborda formalmente en los niveles pre-universitarios, para su desarrollo el docente puede partir de nociones previas que generalmente aparecen en las currículas de los cursos pre-universitarios, tales como: Ondas longitudinales (ondas sonoras), Ondas transversales (ondas lumínicas), Reflexión y Refracción de la luz y, Difracción de la luz y el sonido.

A partir de estas nociones y, teniendo en cuenta que si bien las ondas sísmicas son ondas mecánicas que tienen ambos comportamientos, no resulta muy complejo inferir (Tarbuck, 1984) algunas características de las mismas, tales como:

(1) Dpto. de Informática. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. avalenzuela@unsj-cuim.edu.ar

(2) Dpto. de Geofísica y Astronomía. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. palvarad@unsj-cuim.edu.ar

(3) Dpto. de Informática. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. amalberti@unsj.edu.ar

- 1) En todos los materiales las ondas longitudinales (P) viajan más rápido que las transversales (S).
- 2) Las ondas sísmicas viajan más rápido en materiales rígidos¹, los cuales vuelven elásticamente a su forma original cuando sufren una deformación.
- 3) Dentro de una misma capa, la velocidad de las ondas se incrementa con la profundidad.²
- 4) Las ondas S no se transmiten en los líquidos.
- 5) Cuando las ondas sísmicas viajan de un material a otro de distintas características, parte de la energía de la onda se refracta y parte se refleja en la discontinuidad (límite entre los dos materiales).

3. ORIENTACIONES GENERALES PARA LOS DOCENTES

Esta propuesta se presenta como una alternativa a los docentes, para que a través de medios pre-computacionales, puedan guiar a los alumnos en la construcción del conocimiento del interior de la Tierra. La misma puede implementarse con la elaboración, por parte del docente, de un documento o guía de estudio, en el cual puede incluir aportes históricos, imágenes ilustrativas, artículos científicos, actividades y cuestiones a resolver. De este modo, se puede obtener material didáctico para abordar la temática en cuestión, que presente mayores ventajas para el proceso Enseñanza-Aprendizaje, frente a la manera tradicional de presentar el tema como clase magistral. La propuesta, puede complementarse con videos o productos multimedia que ofrezcan mayor atractivo e información sobre algunos temas vinculados, con investigaciones a través de INTERNET, prácticas de laboratorio, visitas a Centros dedicados al tema o simplemente, con narraciones que el docente puede ir didácticamente intercalando, de modo que el alumno vaya enriqueciéndose en la forma de conocer nuestro planeta.

4. UN CAMINO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO DESDE LA HISTORIA DE LA CIENCIA

El camino elegido, incluye una secuencia de hipótesis que el alumno enfrentará a medida que avance en la construcción de conocimientos. Cada hipótesis representa un modelo de estructura interna de la Tierra, el cual tiene su correspondencia en la historia de la ciencia. Este modelo irá cambiando en función de nuevos conocimientos y nueva tecnología, hasta llegar a un modelo similar al que actualmente se conoce.

En las actividades y cuestiones que se presentan incorporamos algunas sugerencias, aclaraciones y citas bibliográficas con el fin de orientar al docente al momento de preparar el material didáctico.

ACTIVIDAD 1:

¿Cómo es la Tierra por dentro?

Se puede partir de una síntesis de la novela de Julio Verne (1828–1905) “Viaje al Centro de la Tierra” poniendo énfasis en la fecha en que fue escrita esta novela.

Sugerencia: Manuel Rebollo (1996) presenta un texto sobre este tema.

Cuestiones: A partir de la lectura, surge inmediatamente la sospecha de que tal relato es tan sólo ficción, pero ¿no estará su argumento basado en ideas sostenidas hace miles de años atrás?

Se sugiere entonces, analizar el material didáctico que se propone y hacer una síntesis de la concepción que sobre el interior de la Tierra se tenía en las siguientes etapas de la historia de la ciencia:

Siglo XV a.d.n.e. (antes de nuestra era)

Siglo VI a.d.n.e.,

Siglo VI a.d.n.e

Siglo I a.d.n.e.,

Siglo I a.d.n.e.

Siglo V d.n.e., (de nuestra era)

Siglo V d.n.e

Siglo XV d.n.e. y

Siglo XV al Siglo XVII.

Sugerencia: El material didáctico elaborado por el docente debe hacer referencia a algunas de las concepciones que sobre el interior de la Tierra se tenía en las etapas antes mencionadas, pasando de la concepción mística de los babilonios, para quienes el interior era hueco y estaba asignado a los muertos, a la concepción de Aristóteles, quien se basa en la teoría de los cuatro elementos para su explicación sobre el interior de la Tierra. Luego, en la etapa de predominio del imperio romano, la desaparición de Pompeya (año 79 d.n.e) se usa como argumento para suponer un interior con una constitución similar a la superficie de la Tierra. Es posible advertir cómo se intenta explicar lo desconocido a partir de lo conocido. A partir de la edad media, puede verse el retroceso en las explicaciones que se dan sobre la constitución de nuestro planeta, especialmente por el tinte religioso de la mismas. En la etapa final, en la cual hay un cambio de cosmovisión y, es la visión cosmogónica de Copérnico la que triunfa, vale la pena rescatar la hipótesis que Descartes sostiene sobre el interior de la Tierra: *La Tierra se formó a partir de una masa incandescente, similar al sol, que luego se enfrió y que encierra un núcleo aún caliente*. Distintos autores resaltan la estrecha vinculación, que desde la antigüedad existió, entre los movimientos sísmicos y la constitución interna de nuestro planeta (Cailleux, 1964; Matthews III, 1972; Adams, 1954; Passoti, 1945).

(1). rigidez: es la propiedad que mide el grado de resistencia de un sólido elástico a ser deformado.

(2). la noción de presión litostática puede trabajarse a partir del concepto de presión hidrostática.

ACTIVIDAD 2:

Si bien, hay limitaciones en el uso de métodos directos para conocer el interior de nuestro planeta, ¿qué otros fenómenos nos brindan información sobre el interior de la Tierra?

Sugerencia: El docente puede hacer uso de recursos atractivos, como enciclopedias multimediales o vídeos, con el propósito de mostrar que muchos fenómenos de la naturaleza que se manifiestan espontáneamente, volcanes, géiseres y aguas termales, están indicando la presencia de altas temperaturas hacia el interior de la Tierra.

Cuestiones: A partir de toda la información reunida, proponer una primera hipótesis sobre la estructura interna de la Tierra.

Sugerencia: el docente debe acompañar al alumno a elaborar su primera hipótesis, la cual, según encuestas realizadas, generalmente se aproxima a la **hipótesis 1** que a continuación se presenta.

ACTIVIDAD 3:

Supongamos la siguiente hipótesis:

Hipótesis 1: La Tierra está formada por una delgada corteza y un interior líquido sometido a altas temperaturas.

1) Analizar todos los argumentos antes planteados y observar si a partir de ellos es posible sustentar esta hipótesis.

2) Investigar a partir del material propuesto por el docente, qué científicos sostuvieron una hipótesis similar y cuáles fueron los argumentos que la sustentaron.

Sugerencia: el material debe incluir textos que hagan referencia al siglo XVIII y a la Teoría Cosmogónica de Laplace (Matthews III, 1972 ; Pasotti, 1945) de modo que a través de esta actividad el alumno reconozca que muchas de sus hipótesis coinciden con las de científicos que se dedicaron al estudio del tema.

Cuestiones: La acción de las mareas no se limita sólo a las aguas que cubren nuestro planeta, sino que la parte rocosa de la Tierra sufre también su acción ¿Cómo reaccionaría esta delgada corteza frente a la atracción solar y lunar?

Sugerencia: el docente puede presentar didácticamente a los alumnos la experiencia que Albert Abraham Michelson realizó en el siglo XIX, denominado experimento de micromareas (Gamow, 1967). Como conclusión de esta experiencia, se infirió que de los valores observados de las mareas sólo el 69% de la elevación corresponden a las aguas oceánicas, el 31% restante corresponde a la deformación de la superficie sólida de la Tierra. A partir de estos datos, Lord Kelvin calculó la rigidez de la Tierra, concluyendo que era tan alta “como si estuviera hecha de acero”. Valores tan elevados de rigidez no pueden corresponderse con una delgada corteza. Por lo tanto, es oportuno formular una nueva hipótesis que supere las dificultades de la antes planteada.

ACTIVIDAD 4:

Hipótesis 2: La Tierra está formada por una profunda capa rocosa y un interior líquido sometido a altas temperaturas.

1) ¿Qué cantidad de viajes, desde una ciudad en particular, a la capital del país, equivalen a un viaje al centro de la Tierra, sabiendo que el radio terrestre tiene una longitud de 6370 kilómetros?

2) La distancia epicentral, distancia entre el epicentro de un sismo y la estación sismológica que lo registra, además de medirse en kilómetros puede considerarse en grados de un círculo máximo. Si 360° equivalen a 40.000.000 m: ¿Cuántos metros equivalen a 1°, a 90° y a 180°?

Sugerencia: En esta actividad, el docente promueve que los alumnos tomen mayor realidad de la profundidad hacia dónde se encuentra el centro de la Tierra, relacionando estas dimensiones con dimensiones conocidas y además, revisar las nociones de foco, sismo y distancia epicentral, necesarias para resolver las próximas cuestiones).

Cuestiones: La siguiente figura (Figura 1) representa los tiempos de propagación de las ondas desde un foco a una estación sismológica en función de las distancias recorridas por ellas; se corresponde con una de las primeras tablas que se obtuvieron en el siglo XX.

- ¿Por qué las trayectorias no son rectas?
- ¿Por qué la curva de las ondas P está debajo de la curva de las ondas S?

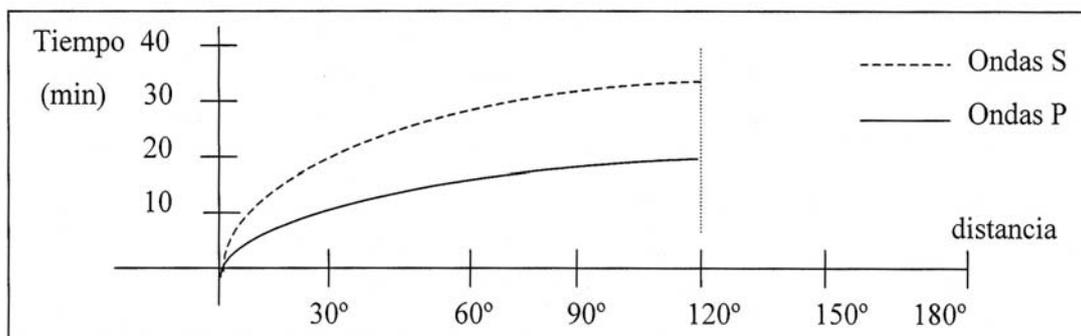


Figura 1. Situación hasta los 120 grados de distancia epicentral.

ACTIVIDAD 5:

1) Extrapolar, hasta una distancia de 180° , los resultados presentados en la figura 1.

2) Confrontar estos resultados con argumentos expresados en la actividad 1 y con las observaciones sismográficas realizadas por Oldham (1906)

Sugerencias: En esta actividad, es común que el alumno considere a la tierra homogénea y caiga en la misma dificultad que tuvo Oldham. Oldham construyó la tabla anterior, para distancias cercanas, y luego realizó las extrapolaciones pertinentes. Cuando realizó observaciones sismográficas en las antípodas, encontró una diferencia de 10 minutos en el arribo de las ondas S y 2 minutos en el arribo de las ondas P, respecto a la extrapolación.

Inferir la presencia de una zona de bajas velocidades, a partir de los 120° , donde hay presencia de ondas P y, muy especialmente, de ondas S, puede llevar a los alumnos a refutar la hipótesis de un interior con características de un líquido, antes sustentada. En esta actividad, se pone de relieve la capacidad orientadora del docente, quien debe hacer notar que muchas veces en la verificación de hipótesis surgen dificultades que más tarde pueden resolverse.

En este caso, los obstáculos tecnológicos de la época, el uso de sismógrafos que se saturaban después de los primeros registros, no permitían distinguir claramente nuevas fases, como las ondas SS³. Fueron estas ondas, las que Oldham confunde con Ondas S.

ACTIVIDAD 6:

1) Dibujar las trayectorias de las ondas sísmicas que salen del foco F y arriban a las estaciones sismológicas E1, E2 y E3, para el caso de un medio o capa.

2) Dibujar las trayectorias de las ondas sísmicas que salen del foco F y arriban a las estaciones E1, E2 y E3, para el caso de dos medios M1 y M2, en ese orden, donde la velocidad de las ondas en el medio M1(V1) es menor que la velocidad en el medio M2(V2).

3) Dibujar las trayectorias de las ondas sísmicas que salen del foco F y arriban a las estaciones E1, E2 y E3, para el caso de infinitas capas, con velocidad en aumento.

Cuestiones: Para la Figura 2, elegir el camino más rápido para ir desde la ciudad A a la ciudad B, a la ciudad C y a la ciudad D.

En la Figura 3, mostramos uno de los problemas que debió resolver el sismólogo Andrija Mohorovicic (1909), al analizar los registros sismográficos de un violentísimo terremoto en Valle Kulpa, Croacia. Puede notarse que las observaciones registraron dos grupos de ondas, uno de mayor amplitud que el otro.

a) ¿Por qué se invierten los arribos de los dos grupos de ondas, a partir de la segunda estación?

b) ¿Por qué, a medida que se aleja del epicentro, el intervalo de tiempo de arribo entre el primer y el segundo grupo aumenta?

c) ¿Qué conclusiones se pueden extraer, si supusiésemos que la situación de la Figura 3, se presenta cuando las ondas refractadas alcanzan alrededor de los 50 km de profundidad?

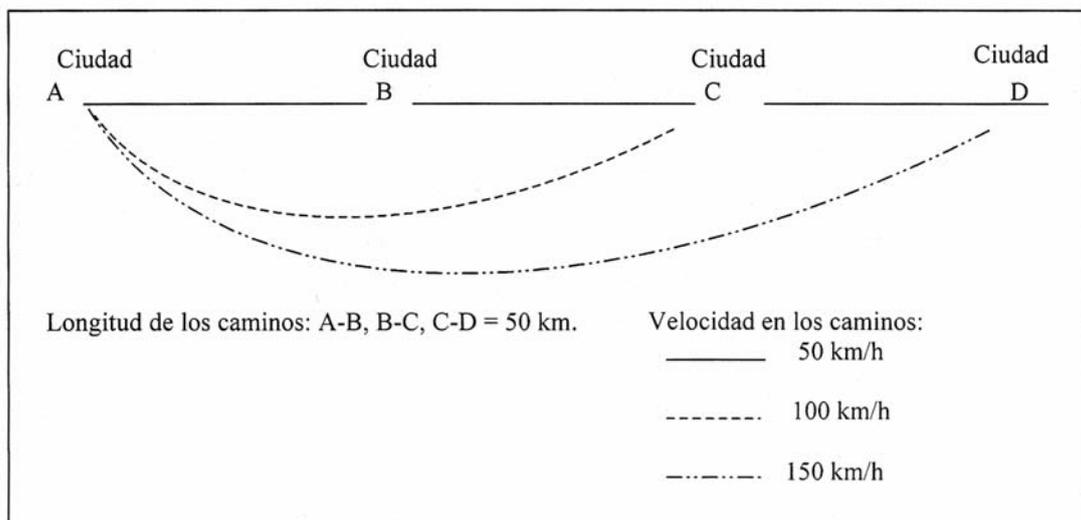


Figura 2.

(3). Ondas SS, son ondas S que se reflejan una vez en la superficie, antes de arribar al sismógrafo.

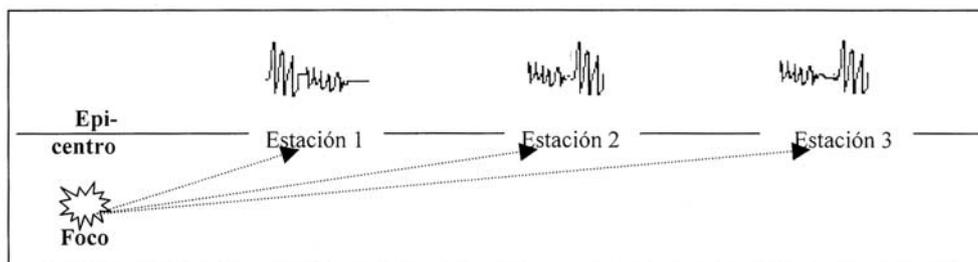


Figura 3. Situación que debió resolver Mohorovicic (1909).

Sugerencias: Esta actividad tiene como propósito reforzar las nociones sobre trayectoria de las ondas sísmicas y sus características, a partir de los conceptos de reflexión y refracción de las ondas. Si bien la Tierra no es homogénea⁴ e isotrópica⁵, se la puede considerar constituida por capas, como una cebolla, donde cada capa tiene esas características. Las cuestiones propuestas, están expuestas de manera similar por Gamow (1967) y en la búsqueda de soluciones, los alumnos encontrarán que, en la figura 3 el grupo de ondas de mayor amplitud corresponden a ondas directas y el otro, a ondas refractadas. A partir de la segunda estación los arribos de las ondas se invierten, por cuanto las ondas refractadas, a pesar de viajar por un camino más largo, lo hacen a una mayor velocidad, lo cual hace que arriben antes que las directas. Mohorovicich supuso que, por debajo de los 50 km de profundidad, los materiales de la Tierra deben ser mucho más densos que las rocas graníticas y basálticas que forman la capa más superficial. A esta nueva capa, se la conoce como manto y a la capa que descansa sobre ella, se la denomina corteza.

ACTIVIDAD 7:

Estamos en condiciones de reformular la hipótesis anterior:

Hipótesis 3: La Tierra está formada por una delgada corteza, una profunda capa rocosa llama-

da manto y un interior de consistencia líquido sometido a altas temperaturas.

Los descubrimientos de Oldham y Mohorovicich, intensificaron el estudio de los tiempos de arribos de ondas P y S en distintos lugares del globo, obteniéndose en 1914, tablas camino – tiempo más completas, como las siguientes.

- 1) Analizar la gráfica de la figura 4, y escribir las conclusiones que de la misma se pueden extraer.
- 2) Trasladar, la tabla de la figura 4, a la siguiente gráfica.

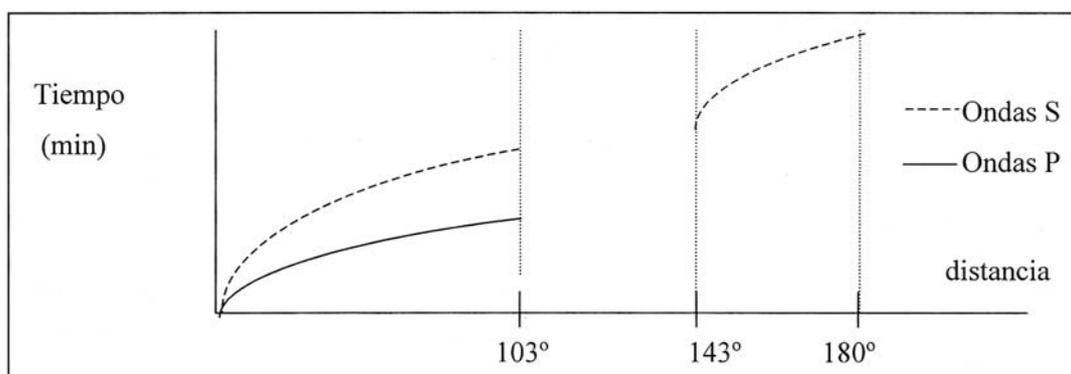
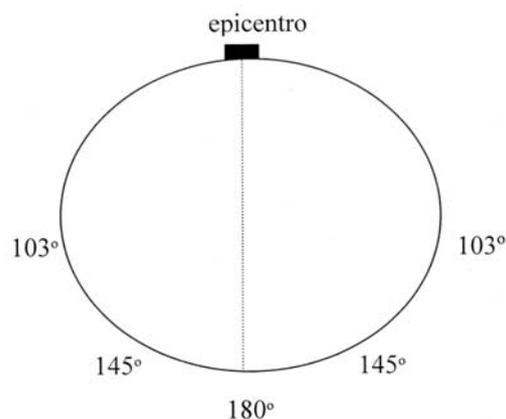


Figura 4. Tabla camino-tiempo de propagación (1914).

(4). Homogéneo hace referencia a un material que tiene las mismas propiedades en todas las direcciones.

(5). Materiales isotrópicos son aquellos donde las ondas P y S se propagan en todas las direcciones con velocidades constantes.

Cuestiones: a) ¿Por qué se forma la zona de sombra entre los 103° y 145°?

b) ¿Está comprobada la presencia de un núcleo interior con características de líquido?

c) ¿Puedes dibujar la estructura interna de la Tierra, aportando algunos datos de las profundidades de sus capas?

Sugerencias: Para esta actividad, son variadas las situaciones problemáticas que el docente puede plantear, en las cuales el alumno deberá atender a las propiedades de las ondas sísmicas. Resulta fundamental que reconozcan la ausencia de ondas S, desde los 103°, para comprobar la presencia de un núcleo con características de líquido.

Por otro lado, al trasladar la tabla de la Figura 4 al interior de Tierra, los alumnos tendrán que tener en cuenta que la velocidad de las ondas P en el núcleo es bastante menor que en el manto, por lo cual al pasar de un medio de mayor velocidad a otro donde las velocidades son menores, los rayos de las ondas P tienden a acercarse a la dirección normal a la interfase, apareciendo por lo tanto a una distancia epicentral más larga. Se genera así una zona de sombra.

A manera de información el docente puede aportar otros datos importantes, como que la profundidad de este núcleo de bajas velocidades, fue matemáticamente calculada por Beno Gutenberg en 1913, basándose en el registro de ondas más complejas, para lo cual utilizó un sismógrafo construido para tal fin por Ernest Wiechert (Hurley, 1977; Shearer, 1999). De ahí que a esa discontinuidad se la denomina discontinuidad de **Gutenberg – Wiechert**.

Finalmente, como resultado de esta actividad estaríamos en condiciones de aceptar la hipótesis 3, como el modelo actual de la estructura interna de la Tierra, pero ¿es así el interior de nuestro planeta?

ACTIVIDAD 8:

Esta actividad, puede plantearse desde un documento o desde la narrativa del docente; a través de ella, además, se llama a la reflexión sobre la relación ciencia– tecnología y el valor que la condición humana cumple en dicha relación.

La explosión Nuclear de Nevada: (Bolt, 1986)

Tal experiencia hace referencia a la explosión que se realizó en abril de 1968, en el lugar de pruebas nucleares de Nevada. Este proyecto fue mirado con recelo por los ciudadanos de las Vegas, por los posibles daños colaterales. Para esta época existía una red mundial de sismógrafos, con 120 estaciones en todo el mundo. Los sismogramas mostraron que las ondas P, originadas en Nevada, atravesaron el núcleo líquido, se reflejaron totalmente y se registraron en Montana. Este fenómeno sólo puede producirse si ese núcleo tiene un comportamiento totalmente rígido.

Cuestiones: ¿Podemos formular esta nueva hipótesis?

Hipótesis 3: La Tierra está formada por una delgada corteza, una profunda capa rocosa, un núcleo externo de líquido y un núcleo interno con características de sólido.

Sugerencia: Si bien esta experiencia, permite validar la hipótesis planteada, es importante hacer notar a los alumnos que es tan sólo una hipótesis, y que la comprobación científica del estado sólido de este nuevo núcleo se logrará cuando se verifique la transmisión de ondas S en él. Cabe hacer notar que hasta 1998, solo dos grupos de investigadores “dicen” haber observado la propagación de ondas S por el núcleo interno, desde registros de terremotos profundos (Shearer, 1999). Es de esperar que los avances tecnológicos y científicos permitan que nuevos instrumentos logren resolver este interrogante.

CONCLUSIONES:

Si bien, en un principio nuestra tarea de construir el conocimiento sobre la estructura interna de nuestro planeta, ha terminado, es importante hacer notar que las diferentes hipótesis formuladas en distintas épocas, fueron aceptadas por estar sustentadas en el conocimiento existente para esos tiempos. Al acumularse nueva información y desarrollarse nuevas tecnologías, estas hipótesis perdieron sustento y fueron reemplazadas por otras. El constante dinamismo del conocimiento, que se va construyendo lentamente, permite prever que toda hipótesis puede ser invalidada por nuevos aportes.

A través de este camino, se ha intentado construir el conocimiento del interior de la Tierra, quedando abierto para nuevos descubrimientos científicos y nuevos aportes de otras disciplinas. El mismo intenta mostrar a la ciencia como algo no cerrado, sino en continuo movimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, Frank Dawson. (1954). *The birth and development of the Geological Sciences*. New York. United States of America.
- Bolt, Bruce A. (1986). *Terremotos*. Ediciones Orbis. Barcelona.
- Cailleux, A. (1964). *Historia de la Geología*. EUDEBA. Buenos Aires.
- Gamow, George. (1967). *Un planeta llamado Tierra*. Calpe. Madrid.
- Hurley, Patrik M. (1977). *¿Qué edad tiene la Tierra?*. EUDEBA. Buenos Aires. Argentina.
- Matthews III, Williams. (1972). *Invitación a la Geología. La Tierra a través del tiempo y del espacio*. EUDEBA. Buenos Aires. Argentina.
- Pasotti, Pierina y Castellanos Alfredo. (1945). *Cuatro lecciones sobre Terremotos*. Asociación Nacional de Conferencias. Rosario. Argentina.
- Rebollo, Manuel. (1996). Una aproximación didáctica a la naturaleza de la ciencia a través de los textos históricos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 4.1., 53-58.
- Shearer, Peter. (1999). *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press. USA.
- Strahler, Arthur N. y Alan H. Strahler. (1989). *Geografía Física*. Ediciones Omega. Barcelona.
- Tarback, Edward Lutgens. (1984). *The Earth, and Introduction to Physical Geology*. Editorial Merrill. Columbus. Ohio. ■