



UNIVERSIDAD **NACIONAL** DE COLOMBIA

PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA  
APRENDIZAJE DEL FENÓMENO DE LA REFRACCIÓN DE  
LAS ONDAS MECÁNICAS Y SU APLICACIÓN PARA EL  
ESTUDIO DEL INTERIOR DE LA TIERRA.

GILMA ROCÍO PESCA CORONADO

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Bogotá, Colombia

2014

PROPUESTA DIDACTICA PARA LA ENSEÑANZA  
APRENDIZAJE DEL FENÓMENO DE LA REFRACCIÓN DE  
LAS ONDAS MECÁNICAS Y SU APLICACIÓN PARA EL  
ESTUDIO DEL INTERIOR DE LA TIERRA.

GILMA ROCÍO PESCA CORONADO

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Enseñanza de las Ciencias exactas y naturales**

Director:

M. Sc Geólogo, Juan Manuel Moreno Murillo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Bogotá, Colombia

2014

***Al Universo:***

***Por permitirme vivir, pensar y sentir.***

***A Juanita y mi Cora:***

***Su apoyo incondicional, me da la fortaleza que necesito cada día.***

## **Agradecimientos**

A la Institución Educativa Colegio Heladia Mejía, por facilitarme el espacio para desarrollar esta propuesta didáctica y metodológica, en especial a los estudiantes de grado décimo Jornada mañana, por su colaboración en el desarrollo de la presente unidad.

Al magister e investigador Juan Manuel Moreno, quien me guio de la mejor manera en el desarrollo de esta propuesta, a sus conocimientos en aspectos del área de geología y en aspectos metodológicos, además de su apoyo para la realización de la maestría.

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, por los espacios de formación que complementaron mis aprendizajes sobre la enseñanza de las ciencias y en especial sobre la enseñanza de las ciencias de la Tierra.

Al profesor Fredy Monroy coordinador de la Maestría en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, por compartir su sabia experiencia en los procesos de enseñanza - aprendizaje.

## **Resumen**

La propuesta didáctica final de este trabajo se presenta en un material escrito, tipo cartilla, dirigido a estudiantes de ciclos 4 y 5 del Colegio Heladia Mejia, éste material recopila una serie de procesos, para facilitar que un estudiante de grado undécimo reconozca de manera experimental, que existen métodos para el conocimiento del interior de la Tierra basados en la sismica de la refracción. Durante el desarrollo del mismo, motivada principalmente por los resultados mostrados en pruebas nacionales e internacionales, se encontró que los conceptos asociados a la forma como se conoce el interior de la Tierra son desconocidos para ellos y esto se explica, en parte, por la ausencia de material pensado para esta población específica. A lo anterior, se observó que el tema de la refracción solo es enseñado a partir de fenómenos de la luz, desconociendo de esta manera las aplicaciones en las ciencias de la Tierra. Como resultado, la cartilla presenta los conceptos ligados con prácticas y experimentos sencillos con una metodología de aprendizaje activo, que incorpora mini proyectos y actividades secuenciales con rigor científico y que permiten al estudiante un desarrollo con autonomía.

**Palabras clave:** Enseñanza de las ciencias de la Tierra; refracción; ondas sísmica; didáctica.

## **Abstract**

The final methodological approach of this work is presented in a written material, type primer, aimed to students in cycles 4 and 5 of the College Heladia Mejia, this material collects a number of processes to facilitate an eleventh grade student recognize so experimental, that there are methods for understanding the interior of the Earth based by seismic refraction. During its development, driven primarily by the results shown in national and international tests, it was found that the concepts associated with the interior of the Earth are unknown to them and this is explain in part by the absence material designed for this specific population. To this, we observed that the issue of refraction been taught only from phenomena of light, and ignoring the applications in earth science. As a result, the book introduces the concepts and practices associated with simple experiments with active learning methodology, which incorporates sequential mini projects and activities with scientific rigor and allow the student development with autonomy.

**Key words:** Teaching earth science; refraction; seismic waves; didactics

## Contenido

LISTA DE FIGURAS .....	8
INTRODUCCIÓN .....	10
1 FUNDAMENTACIÓN HISTÓRICA .....	12
1.1 ONDAS .....	12
1.2 INTERIOR DE LA TIERRA .....	17
1.3 SISMICA DE REFRACCION.....	21
2 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL .....	24
2.1 LAS ONDAS .....	24
2.1.1 CONCEPTO DE ONDA .....	24
2.1.2 ONDA DE CHOQUE .....	27
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS .....	29
2.1.4 TIPOS DE ONDAS.....	30
2.2 EL INTERIOR DE LA TIERRA .....	31
2.2.1 CAPAS DEFINIDAS POR SU COMPOSICIÓN .....	33
2.2.2 CAPAS DEFINIDAS POR SUS PROPIEDADES FÍSICAS .....	34
2.3 ONDAS SÍSMICAS .....	38
2.3.1 ONDAS P .....	40
2.3.2 ONDAS S .....	41
2.3.3 ONDAS SUPERFICIALES.....	42
2.4 REFRACCIÓN.....	43
2.4.1 MEDIO (Índice de refracción) .....	46
2.5 LEY DE SNELL .....	46
2.6 SÍSMICA DE REFRACCIÓN.....	49
3 FUNDAMENTACIÓN PEDAGÓGICA .....	55
3.1 LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA.....	55

3.2	EL EXPERIMENTO .....	55
3.3	MINI PROYECTOS .....	56
3.4	CARTILLA COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA.....	56
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
4.1	CONCLUSIONES.....	60
4.2	RECOMENDACIONES .....	61
5	BIBLIOGRAFÍA .....	62
	Anexo A. Prueba diagnóstica .....	64
	Anexo B. Resultados prueba diagnóstica .....	70
	Anexo C. Guía construcción sismógrafo (principio del geófono).....	72
	Anexo D. Cartilla .....	75

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Árabes observando fenómenos de la luz.....	13
Figura 1.2	Discontinuidad de Mohorovic .....	19
Figura 1.3	Discontinuidad de Gutenberg.....	20
Figura 1.4	Discontinuidad de Lehman.....	21
Figura 1.5	Descubrimiento del núcleo interno.....	22
Figura 1.6	Refracción en el subsuelo .....	23
Figura 2.1	Ondas en el agua .....	24
Figura 2.2.	Vista superior de las ondas en el agua.....	25
Figura 2.3	la luz del Sol .....	26
Figura 2.4	Onda de choque .....	27
Figura 2.5	Conos de presión en un avión supersónico.....	28
Figura 2.6	Representación de elementos de una onda .....	29
Figura 2.7	Onda longitudinal vista en un resorte .....	30
Figura 2.8	Onda transversal vista en un resorte .....	31
Figura 2.9	Mina más profunda en África .....	31
Figura 2.10	Ubicación de mina “Western Deep Levels” .....	32
Figura 2.11	Modelos que explican la dinámica terrestre .....	37
Figura 2.12	Representación de la forma en que viaja la energía .....	38
Figura 2.13	Ondas P .....	40
Figura 2.14	Onda sísmica P y su movimiento característico. ....	40
Figura 2.15	Ondas S.....	41
Figura 2.16	Onda sísmica S y su movimiento característico. ....	42
Figura 2.17	Ondas superficiales. ....	42
Figura 2.18	Fenómeno de la refracción.....	44
Figura 2.19	Refracción de la luz. ....	45
Figura 2.20	Ejemplos de refracción .....	45
Figura 2.21	Rayos reflejados y refractados.....	47
Figura 2.22	Geófono electromagnético .....	49
Figura 2.23	Ondas reflejadas y refractadas .....	51
Figura 2.24	Momento 1 del movimiento de las ondas sísmicas .....	52



Figura 2.25 Momento 2 del movimiento de las ondas sísmicas .....	52
Figura 2.26 Momento 3 del movimiento de las ondas sísmicas. ....	53
Figura 2.27 Esquema de la sísmica de refracción .....	54
Figura 0.1 Modelo de geófono electromagnético .....	73
Figura 0.2 Sísmica de refracción con martillo. ....	73

# INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Educación Nacional en los lineamientos curriculares de ciencias naturales y educación ambiental, establece que uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias naturales, es aportar para que el estudiante: *Construya teorías acerca del mundo real; además de diseñar experimentos, que pongan a prueba sus hipótesis y teorías*. Por lo tanto, no sólo es necesario construir conocimientos acerca de los objetos, eventos y procesos del mundo natural, sino que el estudiante debe pensar y repensar, acerca de la aplicación de ese conocimiento, en la realidad de su medio, que en este caso y para todos los seres humanos, es el planeta Tierra.

Es decir, establece que *“enseñar ciencias debe ser, darle al estudiante la oportunidad de establecer un diálogo racional entre su propia perspectiva y las de los demás, con el fin de entender de manera más amplia, el mundo en que vive”* (MEN, 1998). Desde esta perspectiva, la interpretación de los comportamientos observables, como es el caso de las ondas, la refracción y su aplicación, causa curiosidad en los estudiantes. La presente propuesta parte de establecer relación entre los conceptos teóricos de la clase de física y su aplicación a lo concreto en situaciones diarias. Está dirigida a los estudiantes de grado undécimo del colegio Heladia Mejía, Institución Educativa Distrital, ubicado en la localidad de Barrios Unidos, con modalidad académica y cuyo Proyecto Educativo Institucional, está centrado en ciencia y valores.

El tema de la refracción, se plantea en la malla curricular de la institución para ser dictada en grado noveno, donde se da una descripción del fenómeno y en grado undécimo se plantean los conceptos, las ecuaciones y las aplicaciones del mismo, enfocado hacia los fenómenos ópticos y no se explica la refracción de las ondas mecánicas y sus aplicaciones. Se considera que una razón por la cual no se enseña, según encuesta a docentes de la

institución es porque se desconoce cuál es la aplicación directa de esta temática en la vida diaria.

La metodología planteada contempla la aplicación de una prueba diagnóstica, como herramienta para obtener información de los saberes previos de los estudiantes respecto de los métodos para conocer el interior de la tierra y los conceptos que los fundamentan para partir de estos y realizar el diseño de la estrategia.

Se plantean guías experimentales a manera de modelo, para indicar cuales son las capas que conforman la Tierra y el comportamiento que presentan ante una onda sísmica o sonora dentro de un modelo de mini proyecto, finalmente se diseñará una estrategia para la enseñanza del método físico de refracción de la energía por el cual es posible conocer el interior de la tierra y su estructura en forma de capas.

El experimento final utilizará elementos contruidos por los estudiantes y recursos tecnológicos con los que cuenta la institución como son: calculadora graficadora, sensores de voltaje, sistema de recolección de datos CBL, computador, además con elementos conseguidos para la práctica final que simula lo que realiza un ingeniero o geólogo para estudiar el interior de la Tierra como lo es un geófono.

Finalmente se espera que cada estudiante construya un geófono casero y lo use en la recolección de datos o para el registro de movimientos sísmicos.

El diseño completo de la metodología se implementará por medio de una cartilla didáctica para que cada estudiante con la orientación del profesor la desarrolle tema a tema y que le permita además profundizar en algunos de los temas allí expuestos.

# 1 FUNDAMENTACIÓN HISTÓRICA

## 1.1 ONDAS

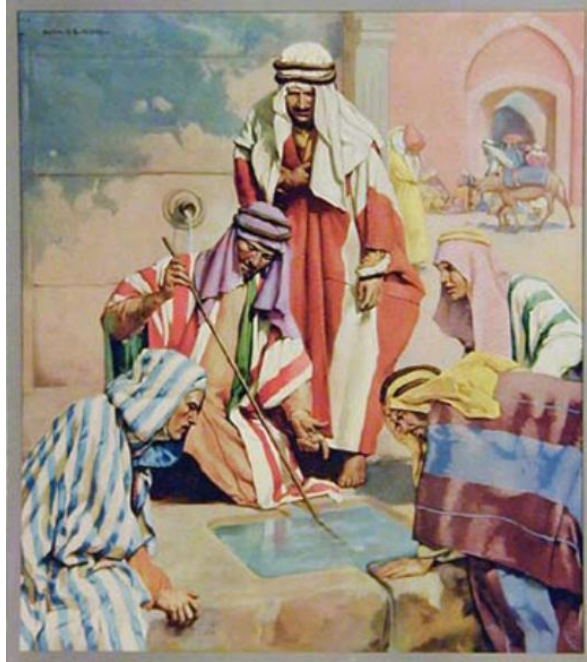
Los primeros en hacerse preguntas concretas, relacionadas con el fenómeno de la visión y la luz, plantearon una serie de modelos para explicar algunos comportamientos, entre los cuales se encuentran:

Demócrito (siglo IV a. de C.) sostenía que la luz era un flujo de partículas emitido por los cuerpos visibles, mientras que Platón (347 o 348 a. de C.) suponía que nuestros ojos emitían partículas que llegaban a los objetos y los hacían visibles. Aristóteles (384 – 322 a. de C.) por su parte, afirmaba que la luz era un fluido inmaterial entre los objetos y los ojos. Euclides (300 a. de C.) introdujo el concepto de rayo de luz emitido por el ojo, que se propagaba en línea recta hasta alcanzar el objeto.

Herón (siglo II a. de C. Alejandría) era mecánico y constructor de máquinas. Estudió los espejos de diversas formas: planos, cóncavos y convexos, y logró fusionar en una, las dos leyes de la reflexión especular: "El rayo, sea o no reflejado, sigue siempre el camino más corto entre el objeto y el, ojo." (Esta afirmación fue recogida en el siglo XVIII por Fermat de manera más general).

El astrónomo Claudio Tolomeo (siglo II Alejandría), en su "Libro quinto de óptica" informa de la construcción de un aparato para medir con exactitud los ángulos de incidencia y de refracción e intentó obtener una relación entre los ángulos de incidencia y de refracción, aunque no logró formular las leyes. Escribió tablas de valores para diversos medios transparentes y sostuvo que los rayos que llegan de las estrellas se refractan en el aire, por lo cual la dirección observada difiere de la real.

En la Edad Media sólo los árabes hicieron estudios sobre la óptica ya que una de las ramas de la medicina islámica más desarrollada, fue el estudio de las enfermedades de los ojos debido a lo cual se interesaron especialmente por su estructura (Villasuso, 2003). Los físicos árabes entendieron la dióptrica en el sentido de "*paso de la luz por los cuerpos transparentes*", llegándose a partir de ese concepto, al inicio de la óptica moderna.



*Figura 1.1 Árabes observando fenómenos de la luz<sup>1</sup>*

*Pintura de Harold Anderson, presenta un grupo de árabes estudiando la refracción de la luz y cuestionando acerca de la teoría de los rayos visuales emanando desde el ojo*

Alhazen Basora (965-1039), es considerado el padre de la óptica moderna, quien realizó importantes adelantos en la óptica de lentes y espejos. Realizó numerosos estudios (sombras, eclipses, naturaleza de la luz) y experimentos y descubrió las leyes de la refracción. Realizó también las primeras experiencias de la dispersión de la luz en sus colores. Fabricó lentes, construyó equipos parabólicos como los que ahora se usan en los modernos telescopios y estudió sus propiedades del enfoque. Proyectó ideas acerca de la teoría para mejorar el aumento de las lentes, que fue desarrollada en Italia tres siglos más

---

<sup>1</sup> Tomado de <http://www.muslimheritage.com/article/book-review-ibn-al-haytham-and-new-optics/gallery/626>

tarde. Para los vidrios de caras curvas, estudió la propiedad que tienen de aumentar las dimensiones de los objetos, y experimentó con garrafas de vidrio llenas de agua, la refracción de los rayos en un medio transparente. Fue el primero en describir exactamente las partes del ojo y dar una explicación científica del proceso de la visión.

Contradiendo la teoría de Tolomeo y de Euclides, “*de que el ojo emite los rayos visuales a los objetos*”, él considera que son los rayos luminosos los que van de los objetos al ojo. Sus experimentos se aproximaron mucho al descubrimiento de las propiedades ópticas de las lentes. Construyó equipos parabólicos como los que ahora se usan en los modernos telescopios.

Leonardo da Vinci (1492 - 1519), estableció cierta similitud entre la luz, el sonido y las ondas de agua. En efecto, da Vinci advirtió una semejanza entre la reflexión de la luz y el eco. Propuso, entonces, la hipótesis de que la luz podría ser un tipo de movimiento ondulatorio, tal como las ondas formadas en el agua. Fue la primera persona que habló de la posibilidad de usar lentes de contacto para corregir problemas visuales. Tradicionalmente, se atribuye a Leonardo da Vinci la primera descripción de un dispositivo, que podría asimilarse a una lente de contacto. Leonardo describe minuciosamente un dispositivo para eliminar los vicios de refracción del ojo (astigmatismo). En el margen de uno de sus escritos añadió el dibujo de un sistema óptico consistente en una semiesfera de vidrio llena de agua y con un rostro sumergido en ésta. La relación de este esquema con las lentes de contacto deriva sólo del hecho de que los ojos están en contacto con el agua, pero Leonardo dibujó también unas lentillas semejantes a las actuales, así como la ampolla de cristal de la que debían tallarse. Al igual que otros inventos suyos, este no pudo ser llevado a la práctica por la limitación tecnológica del siglo XIV.

Johanes Kepler (1571-1630): en 1611 publicó su *Dioptrice*, había descubierto la reflexión total interna y había llegado a la aproximación para pequeños ángulos de la ley de refracción, en cuyo caso los ángulos incidentes y transmitidos son proporcionales. Siguió adelante para desarrollar un tratamiento de la óptica de primer orden para sistemas de lentes delgadas y en su libro describió el funcionamiento detallado del telescopio kepleriano y del galileano.

Willebrord Snellius (Snell) (1591-1626) matemático y astrónomo holandés (profesor en la universidad de Leiden) se dedicó al estudio de la óptica geométrica. Catorce siglos

después de los experimentos de Tolomeo, Snell descubrió empíricamente, en 1621, La ley de la refracción. Convirtiendo este hecho en uno de los grandes momentos de la óptica. Snell consiguió medir los ángulos que forman los rayos incidentes en la superficie de separación de dos medios, así como los que forman los rayos refractados, es decir conocer exactamente como los rayos de la luz son redirigidos al atravesar una frontera entre dos medios y a partir de tales mediciones formuló la conocida Ley de Snell, abriendo de esta manera las puertas a la óptica aplicada moderna como ley fundamental para diseñar lentes y aparatos ópticos.

Entre los documentos hallados a la muerte de Snellius, se encontró la deducción de esta Ley, que desempeñó un importantísimo papel en el desarrollo tanto del cálculo como de la teoría de ondas de la luz. La ley de la refracción, actualmente permite estudiar la naturaleza que nos rodea, desde seres microscópicos por medio de la holografía digital hasta el interior de la Tierra, por medio de la prospección sísmica.

Descartes (1596-1650), descubrió los fundamentos de la óptica moderna. A él se debe la idea de colocar una lente directamente sobre la superficie de la córnea: su diseño constituyó el principio de las lentes de contacto. Hacia 1626 se estableció en París donde se dedicó a la construcción de elementos ópticos hasta 1629. Escribió *"La Dioptrique"*, un trabajo sobre óptica donde dice: *"Si uno aplicase sobre el ojo un tubo lleno de agua, en cuyo extremo hay un vidrio en forma exactamente igual a la piel (córnea) no existiría refracción alguna a la entrada del ojo"*.

Intentó por primera vez fabricar algo que se asemejaba a un lente de contacto. Consistía de un tubo cilíndrico de vidrio que se llenaba de agua. Un extremo del tubo se apretaba contra el ojo, mientras que en la otra punta se ponía un lente de vidrio para corregir el problema visual. Descartes consideraba que su idea no era práctica debido a las dificultades para obtener un vidrio de radio adecuado en el extremo del tubo, colocar éste en contacto con el globo ocular y mantenerlo en posición correcta. Por tales dificultades admitidas a priori, optó por un simple cono de vidrio, anticipándose así al cono diseñado por Steinheil, a mediados del siglo XIX. Parece ser que la ley de la refracción hallada por Snell en 1621, tenía una forma diferente a la que conocemos actualmente, en términos de la función Seno, que es debida a Descartes. En su libro *La Dioptrique*, dedujo la misma ley usando un modelo en el cual la luz se veía como una presión transmitida a través de un medio elástico.

Pierre de Fermat (1601- 1665) dedujo de nuevo la ley de refracción de la luz a partir de su propio principio de tiempo mínimo (1657), sin tener en cuenta las suposiciones de Descartes y apartándose del postulado de Herón, según el cual la luz seguiría el camino más corto para ir desde un punto hasta otro. Fermat mantuvo que la luz se propaga siempre a lo largo de aquella trayectoria que le suponga el mínimo tiempo, incluso si para lograrlo tuviera que desviarse del camino geoméricamente más corto

James Gregory, (1638-1675): célebre catedrático de matemáticas de la universidad escocesa de Saint Andrew. Estudió geometría, mecánica y astronomía. Mantuvo correspondencia con Newton. Publicó su primera obra, "*Optica promota*" en 1663. No conocía ni la "Dióptrica" de Descartes (1637) ni la Ley de refracción, y a pesar de ello, formuló una ley y construyó un modelo para la medida de la refracción equivalente a la ley del Seno, basándose en la experiencia. Es en esa época, cuando establece los principios teóricos del instrumento que se conoce como "telescopio refractor de Gregory".

Christian Huygens (1629-1695), Físico holandés quien tenía sus propias ideas acerca de la luz, elaboró la teoría ondulatoria. Semejante al sonido, decía, la luz es también una vibración que se propaga utilizando un soporte material que llamó éter (en esto se equivocó). Las leyes de la óptica se explican fácilmente con esta teoría y para explicar la refracción supuso que la velocidad de la luz era menor en el vidrio o en el agua, que en el aire, justo lo contrario de lo que suponía Newton. La comprobación de este valor era imposible en aquella época.

Isaac Newton (1642-1727) descartaba la hipótesis ondulatoria de Huygens, entre otras cosas porque no explicaba la propagación rectilínea de la luz y elaboró la teoría corpuscular según la cual la luz era un chorro de partículas que se originaba en el foco de luz y que se desplazaban a gran velocidad. Utilizando la teoría corpuscular, pudo explicar las leyes de la reflexión (rebote de las partículas sobre un cuerpo) y de la refracción. Sin embargo su deducción de la ley de la refracción dependía de la hipótesis de que la luz se movía con mayor rapidez en el agua o en el vidrio que en el aire, lo cual posteriormente se demostró que era falso.

El matemático alemán Karl Friedrich Gauss (1777-1855), estableció la teoría de primer orden de la óptica geométrica, que se basa en la ley de la refracción y en consideraciones



geométricas para calcular las posiciones de las imágenes y sus tamaños en los sistemas ópticos formados por lentes y espejos.

William Hyde Wollaston (1766- 1828), físico y químico británico, dedicado a la investigación electroquímica y a la óptica. Fue el primero en informar sobre las líneas oscuras del espectro solar y realizó importantes aportes sobre la refracción de la luz. Inventó un aparato para medir el poder de refracción de los sólidos.

## 1.2 INTERIOR DE LA TIERRA

Frank D. Adams afirma en *The Birth and Development of the Geological Sciences* (Nueva York: Dover, 1938) (El nacimiento y desarrollo de las Ciencias Geológicas) que «a lo largo de toda la Edad Media Aristóteles fue considerado el principal filósofo, aquél cuya opinión sobre cualquier tema era la definitiva y más autorizada».

A mediados del siglo XVI, James Ussher, arzobispo anglicano de Armagh, primado de Irlanda, publicó un importante trabajo que tuvo influencias inmediatas y profundas. Afamado estudioso de la Biblia, Ussher construyó una cronología de la historia humana y de la Tierra en la que determinó que la Tierra tenía sólo unos pocos miles de años, ya que había sido creada en el 4004 (a. de C.) El tratado de Ussher consiguió aceptación generalizada entre los líderes científicos y religiosos de Europa, y su cronología acabó figurando impresa en los márgenes de la misma Biblia.

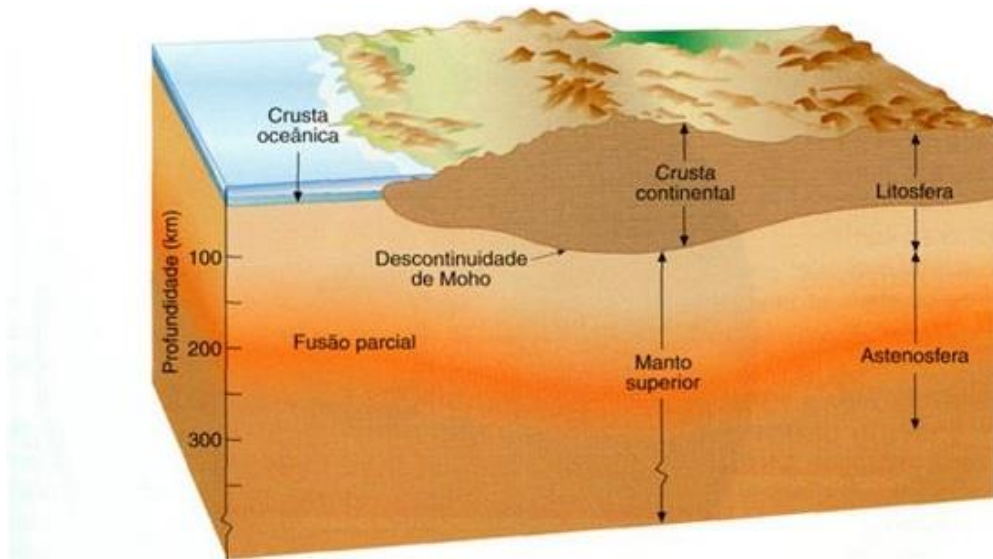
Durante los siglos XVII y XVIII la doctrina del catastrofismo influyó con gran fuerza en el pensamiento sobre la dinámica de la tierra. Dicho brevemente, los catastrofistas creían que los paisajes de la Tierra habían sido formados inicialmente por grandes catástrofes. Por ejemplo, las montañas o los cañones, cuya formación hoy sabemos que requiere mucho tiempo, se explicaban como si fueran el resultado de desastres súbitos y a menudo a escala planetaria, producidos por causas desconocidas que ya no actúan. Esta filosofía era un intento por encajar la velocidad de los procesos terrestres con las ideas entonces reinantes sobre la antigüedad de la Tierra.

La Geología moderna se inició en los años finales del siglo XVII, cuando James Hutton, publicó su *Theory of the Earth* (Teoría de la Tierra). En su trabajo, Hutton estableció un

principio que constituye el pilar de la Geología actual: el uniformismo. Establece simplemente que las leyes físicas, químicas y biológicas que actúan hoy, lo han hecho también en el pasado geológico. Esto significa que las fuerzas y los procesos que en la actualidad observamos que dan forma a nuestro planeta actuaron también en el pasado. Por tanto, para comprender las rocas antiguas, debemos entender primero los procesos petrogenéticos y sus resultados en la actualidad. Esta idea suele expresarse diciendo que «el presente es la clave del pasado». La aceptación del uniformismo significó la aceptación de una historia muy larga para la Tierra. Aunque la intensidad de los procesos terrestres varía, estos siguen tardando mucho en crear y destruir los principales accidentes geográficos del paisaje.

A principios del siglo XX, Mohorovicic encontró que, desde una cierta distancia del epicentro de un terremoto a la estación sismológica (distancia epicentral), la onda de flexión llega más rápidamente que las ondas directas. Dado que las ondas de flexión hunden más profundamente en la Tierra con el aumento de velocidad, un sismólogo sugirió que el cambio de la velocidad de las ondas podría ser debido a la existencia de una discontinuidad, situada a unos 30 km de profundidad, que separa el medio superficial en el que las ondas se mueven a baja velocidad - la corteza, y un medio más profundo, donde la velocidad de las ondas es mayor - el manto.

Estudios posteriores mostraron que la profundidad de la corteza no es constante, variando entre un 5 km y 10 km de espesor bajo los océanos, y entre 20 km y 70 km, en el continente con los valores más altos registrados en las grandes cadenas montaña continental. La diferencia en la velocidad de propagación de las ondas P en el fondo del mar (7 km/s) y continentes (6 km/s) sugiere que la corteza está subdividido en dos tipos: la corteza continental y la corteza oceánica. Este cambio en la velocidad de las ondas P a lo largo de la corteza se debe a diferencias estructurales.

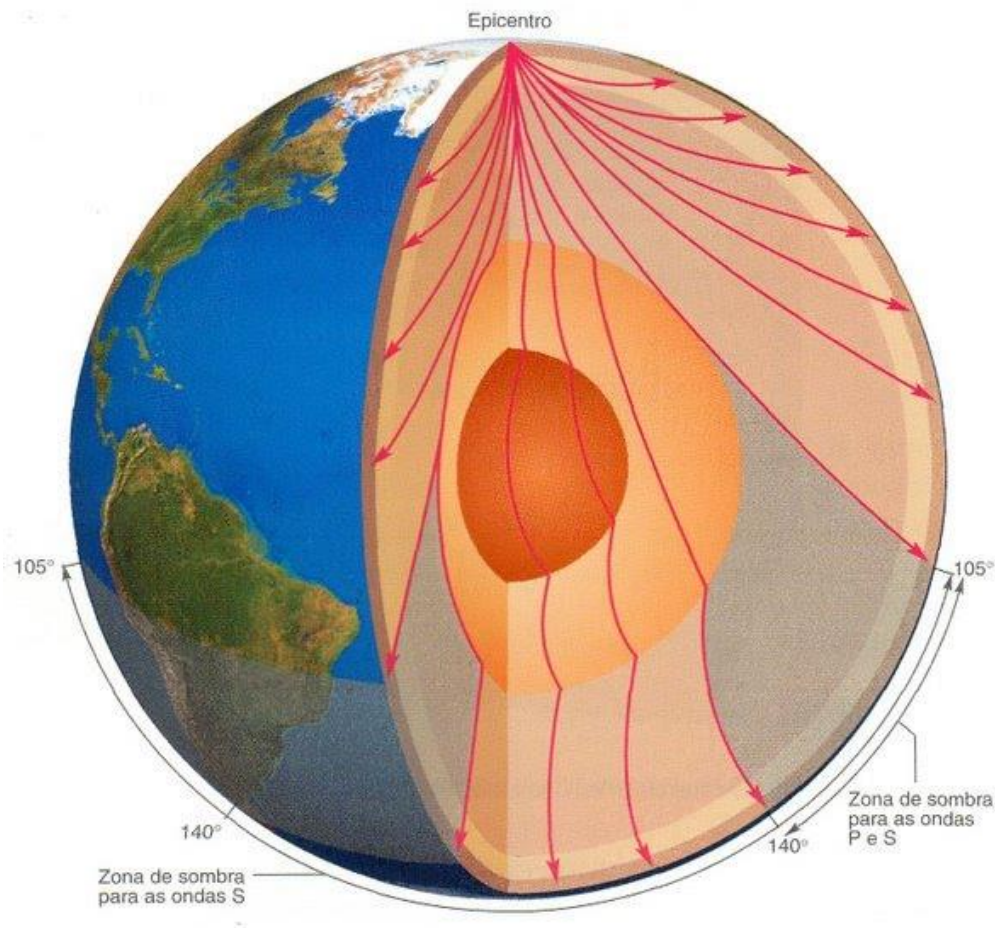


*Figura 1.2 Discontinuidad de Mohorovicic<sup>2</sup>*

*Se muestra en la figura el límite, lo que representa un cambio brusco de la composición de los materiales de la corteza y el manto, le da el nombre discontinuidad Mohorovicic o abreviado al Moho.*

A principios del siglo XX, Gutenberg alemán observó que por cada terremoto, en la superficie de la tierra hay un sector donde es imposible registrar las ondas sísmicas directas, es decir, las ondas sísmicas que golpean la Tierra sufren desviación en su trayectoria, y que por lo tanto el interior de la Tierra era curvilíneo. A esta superficie terrestre, que se encuentra a una distancia angular epicentro comprendida entre 105 ° y 140 °, le da el nombre de zona de sombra. Después del área de sombra, solamente las ondas P se registran y con una velocidad media menor de lo esperado. Gutenberg interpreta estos datos que asocian la ausencia de las ondas sísmicas en la zona de sombra porque existe una zona con características físicas y químicas muy diferentes. El hecho de que las ondas S no se registran después de la zona de sombra, y el hecho de que, a partir de ahí, las ondas P sufren una disminución significativa en su velocidad media, sugiere que esta discontinuidad marca la separación entre ambiente asociado con un manto sólido y un entorno de fluido con una rigidez casi nula correspondiente a la capa más externa del núcleo.

<sup>2</sup> Tomado de <https://sites.google.com/site/correiamiguel25/caracter%C3%ADsticasinternasdatierra>

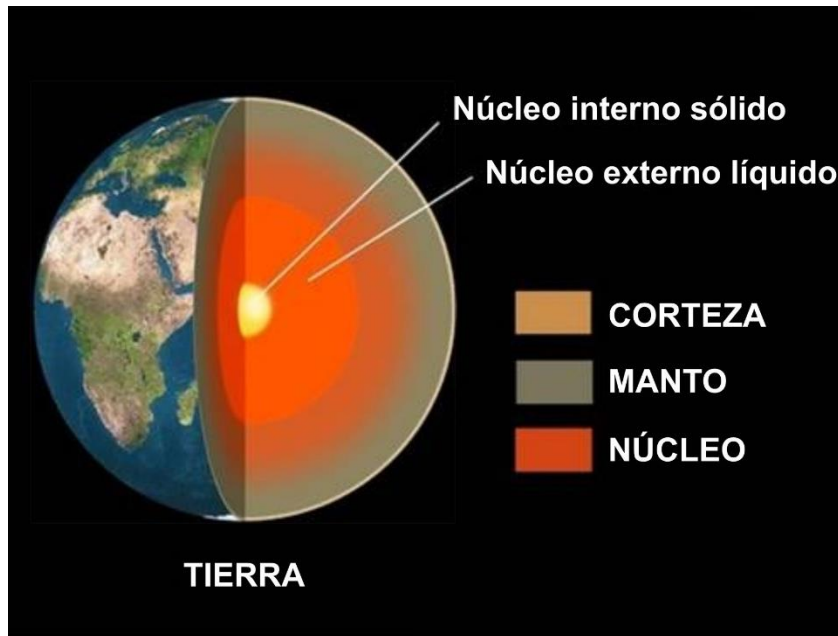


*Figura 1.3 Discontinuidad de Gutenberg<sup>3</sup>*

*Ésta discontinuidad, establece la separación entre el manto y el núcleo, en torno a 2.900 kilómetros de profundidad.*

Otros estudios realizados por la danesa Inge Lehmann han destacado la existencia de un núcleo interno. A partir de los registros sismográficos, se encontró que una parte de las ondas P que penetran a las regiones más internas de la tierra se reflejan a 5155 kilómetros, mientras que otros experimentan un aumento de su velocidad. Dado que la tasa de ondas P es mayor en sólidos medios de comunicación que en medios líquidos, se supone la existencia de un núcleo sólido interno. La frontera entre el núcleo externo (líquido) y el núcleo interno (sólido) da el nombre de discontinuidad de Lehmann.

<sup>3</sup> Tomado de <https://sites.google.com/site/correiamiguel25/caracter%C3%ADsticasinternasdaterra>



*Figura 1.4 Discontinuidad de Lehman<sup>4</sup>*

*Existencia del núcleo interno y del núcleo externo del planeta*

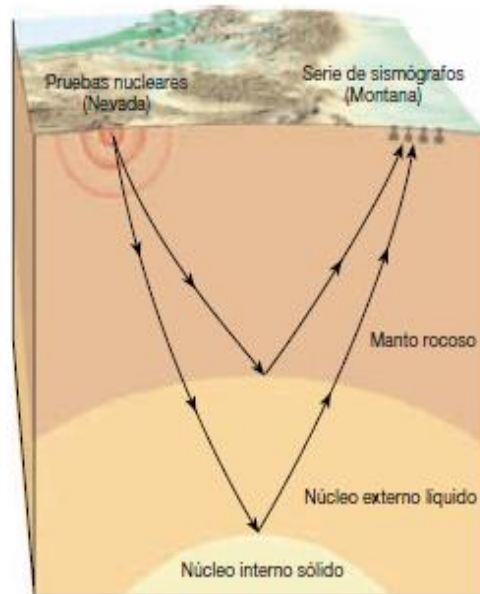
### 1.3 SISMICA DE REFRACCION

Una gran parte de la Geología se basa en observaciones y experimentos llevados a cabo en el campo pero como vemos, la Geología también se realiza en el laboratorio donde, por ejemplo, el estudio de varios materiales terrestres permite comprender muchos procesos básicos. Con frecuencia, la Geología requiere una comprensión y una aplicación del conocimiento y los principios de la Física, la Química y la Biología convirtiéndose en la ciencia que pretende ampliar nuestro conocimiento del mundo natural y del lugar que se ocupa en él.

La refracción se considera un fenómeno que sirve de instrumento para conocer más allá de lo visible. Una de las aplicaciones de este fenómeno ha sido en las actividades de exploración del subsuelo en las ciencias geológicas.

---

<sup>4</sup> Tomado de <http://eluniversobajoelmicroscopio.blogspot.com/>



*Figura 1.5 Descubrimiento del núcleo interno<sup>5</sup>*

*Se ilustra la forma en que por medio de desplazamientos de ondas sísmicas generadas por pruebas nucleares se mide con exactitud la profundidad del núcleo interno. Los sismógrafos localizados en Montana detectan los ecos que rebotan desde el límite del núcleo interno.*

Actualmente se emplean dispositivos electrónicos para detectar y registrar los patrones que en la superficie generan las ondas sísmicas. Sin embargo, existen documentos que hablan de unos dispositivos primitivos con los cuales se realizó el registro de estos movimientos en la China del siglo II d.C. El primer "sismoscopio" fue inventado por el filósofo chino Chang Heng en el año 132. Consistía en una escultura con dragones y ranas, además de bolas talladas que caían de la boca del dragón a la boca de una rana dependiendo del lugar donde se produjo el terremoto, o al menos eso pensaban. Esto no registraba terremotos, solo indicaba que se había producido. Los sismógrafos de eficacia limitada fueron utilizados por Bina y otros en el siglo XVIII. Hacia la mitad del siglo XIX se produjo la invención de Palmieri de un sismógrafo para registrar los tiempos de pequeños terremotos. Un sismógrafo de baja sensibilidad fue inventado por Cecchi en 1875.

<sup>5</sup> Imagen tomada de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Mohorovicic y la estructura de la Tierra (Pellini, 2013): El 8 de octubre de 1909, se produjo un intenso terremoto a 40 km al sur de Zagreb en Croacia (que entonces formaba parte del Imperio Austrohúngaro). Otro terremoto ocurrido previamente en Zagreb había determinado la instalación de un sismógrafo en el observatorio meteorológico de la ciudad, dirigido por Andrija Mohorovicic. En su calidad de director del observatorio, Mohorovicic recibió de todas las estaciones de Europa los registros del terremoto de 1909.

Después de analizarlos detalladamente, realizó un interesante descubrimiento. Como esperaba, los registros reflejaban dos tipos de ondas: de compresión (P), en las que las partículas oscilan a lo largo de la línea de propagación, y de distorsión (S), en las que el movimiento se produce en ángulo recto con respecto a la línea de propagación.

En la actualidad los métodos sísmicos aprovechan la reflexión y la refracción de las ondas acústicas en el subsuelo, la amplitud de estas es registrada para detectar acuíferos, cavidades, depósitos de grava, arena y mapear lechos rocosos; así como estudiar condiciones de las rocas tales como parámetros elásticos y mecánicos, fragilidad y estratigrafía, importantes en el momento de realizar perforaciones con pozos, diseño de vías, estudios geológicos y obras civiles

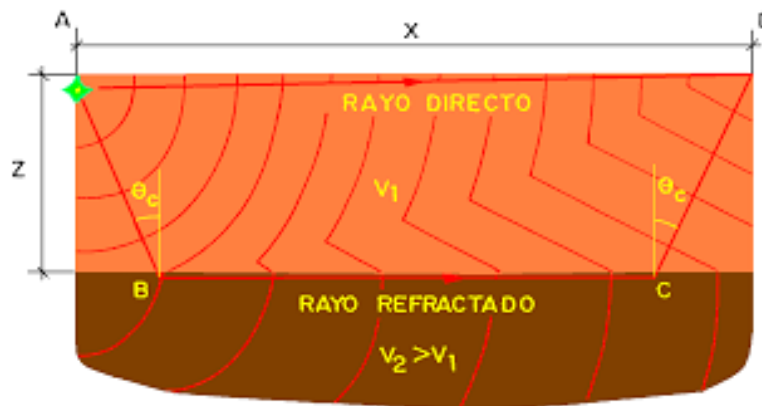


Figura 1.6 Refracción en el subsuelo<sup>6</sup>

Se observa las variaciones en las direcciones de las ondas debidas a los materiales y las capas de la Tierra

6 Tomado de [http://geofisiktecnia.blogspot.com/2011\\_11\\_01\\_archive.html](http://geofisiktecnia.blogspot.com/2011_11_01_archive.html)

## 2 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

### 2.1 LAS ONDAS

#### 2.1.1 CONCEPTO DE ONDA



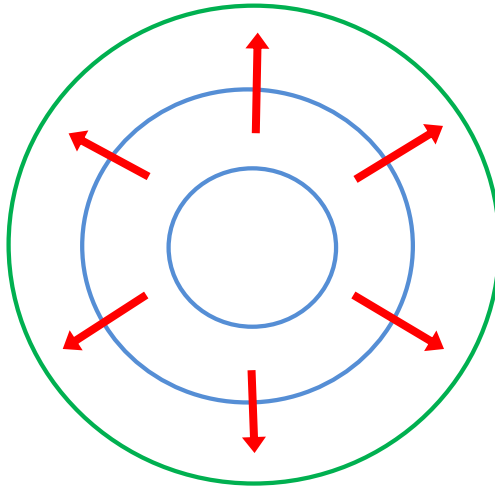
*Figura 2.1 Ondas en el agua<sup>7</sup>*

Una onda es una perturbación o alteración que se produce a un medio, en el cual dicha perturbación se propaga con cierta velocidad. El ejemplo más común de una onda es aquella perturbación que se produce en la superficie del agua de un estanque, al caer gotas de agua sobre ella. Al producirse la perturbación ésta se propaga en todas las direcciones formando círculos que se agrandan a medida que la onda se propaga. En este caso la perturbación es producida por la caída de las gotas de agua, mientras que el agua en la que se forman las ondulaciones, constituye el medio.

---

<sup>7</sup> Tomado de <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/6745942/Soliton-la-onda-inmortal-que-hace-alucinar-a-los-fisicos.html>





*Figura 2.2. Vista superior de las ondas en el agua.*

*En la figura los vectores rojos indican la dirección de propagación de la onda, los círculos azules las ondas que se forman*

En general, todo lo que va y viene, va de un lado a otro y regresa, entra y sale, se enciende y apaga, es fuerte y débil, sube y baja, está vibrando. Una vibración es una oscilación en el tiempo. Un vaivén tanto en el **espacio** como en el **tiempo** es una **onda**, la cual se extiende de un lugar a otro. La luz y el sonido son vibraciones que se propagan en el espacio en forma de ondas; sin embargo, se trata de dos clases de ondas muy distintas. El sonido es la propagación de vibraciones a través de un medio material sólido, líquido o gaseoso. Si no hay medio, entonces no es posible el sonido. El sonido no puede viajar en el vacío. No obstante, la luz sí puede viajar en el vacío, porque, es una vibración de campos eléctricos y magnéticos, una vibración de energía pura. Esto se ve cuando la luz solar viaja por el vacío y llega a la Tierra. (Figura 2.3)



*Figura 2.3 la luz del Sol<sup>8</sup>*

*La energía del sol se transmite sin la necesidad de un medio de transmisión.*

La fuente de todas las ondas, de sonido, de luz o de lo que sea, es algo que vibra. La velocidad con que viaja una onda se denomina velocidad de propagación y en general depende, entre otras de las propiedades elásticas del medio de propagación y no de la forma como son producidas las ondas.

### ***Ejemplo en terremotos***

Los terremotos son movimientos repentinos y transitorios del suelo, que se originan en algún lugar y se propagan en todas las direcciones. Desde el punto de vista científico, un terremoto es una liberación repentina o súbita de energía acumulada durante mucho tiempo y proveniente de tensiones y esfuerzos en la parte superior de la Tierra. La gran mayoría de los sismos son de origen tectónico y por lo tanto ocurren cuando una roca se fractura. Por razones prácticas, se considera que esta ocurre en un punto al que se llama Foco o Hipocentro. A los fines de la información general se define el Epicentro, que es la proyección vertical del hipocentro en la superficie de la Tierra y se le añade la profundidad.

---

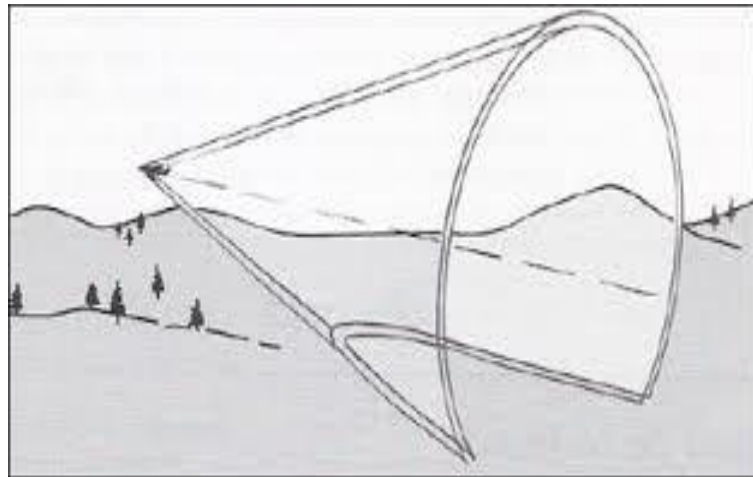
<sup>8</sup> Tomado de <http://elacorazado.org/porque-el-cielo-es-azul/>

## 2.1.2 ONDA DE CHOQUE

(Hewitt, 2007) Perturbación en forma de cono producida por un objeto que se mueva a rapidez supersónica dentro de un fluido.

Una lancha rápida que corta el agua genera una onda de proa bidimensional. Asimismo, un avión supersónico genera una onda de choque tridimensional. Al igual que una onda de proa se produce con círculos traslapados que forman una V, una onda de choque se produce por traslape de esferas que forman un cono. Y así como la onda de proa de una lancha rápida se propaga hasta llegar a la orilla de un lago, la estela cónica generada por un avión supersónico se propaga hasta llegar al suelo. Figura 5.

La onda de proa de una lancha rápida que pasa cerca puede salpicarte y mojararte, si estás en la orilla. En cierto sentido, puedes decir que te golpeó una “estampida del agua”. Del mismo modo, cuando la superficie cónica de aire comprimido que se forma detrás de un avión supersónico llega a las personas en tierra, el crujido agudo que escuchan se llama estampido sónico.



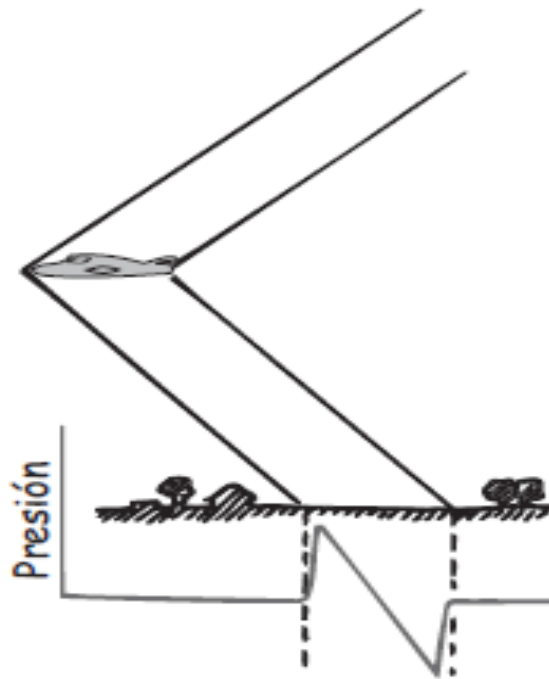
*Figura 2.4 Onda de choque<sup>9</sup>*

No se escucha ningún estampido sónico cuando los aviones son más lentos que el sonido, es decir, son subsónicos, porque las ondas sonoras que llegan a los oídos se perciben como un tono continuo. Sólo cuando el avión se mueve con más rapidez que el sonido se traslapan las ondas, y llegan a una persona en un solo estallido. El aumento repentino de presión tiene el mismo efecto que la expansión súbita de aire que produce una explosión.

---

<sup>9</sup> Imagen tomada de (Hewitt, 2007)

Ambos procesos dirigen una ráfaga de aire con alta presión hacia una persona. El oído es presionado mucho, y no distingue si la alta presión se debe a una explosión o a muchas ondas sumadas.



*Figura 2.5 Conos de presión en un avión supersónico<sup>10</sup>*

*La onda de choque está formada en realidad por dos conos: uno de alta presión, con su vértice en la proa del avión; y un cono de baja presión, con el vértice en la cola. Una gráfica de la presión de aire a nivel del suelo, entre los conos, tiene la forma de la letra N,*

Como dijimos, la propagación de las ondas depende de las propiedades del medio que atraviesan, y si logramos medir la velocidad a la que se propagan, podremos deducir la naturaleza del medio.

Las ondas de choque, conocidas como ondas sísmicas, se propagan como ondulaciones desde el foco hasta el epicentro decreciendo en intensidad. Los tipos principales de ondas sísmicas son las ondas primarias (ondas P) y las de cizalla (ondas S). Las ondas P

---

<sup>10</sup>Imagen tomada de (Hewitt, 2007)

desplazan las partículas en la misma dirección que la onda, son detectadas primero porque son más rápidas que las ondas S, que provocan vibraciones perpendiculares a la dirección de propagación.

El inicio de una perturbación elástica es una liberación de energía que se disipa en su mayor parte como calor, y en menor medida como ondas elásticas o vibraciones. En el caso de la Tierra, debido a una acumulación de tensiones, la roca se fractura y genera ondas elásticas. Estas ondas, llamadas **Internas o de Cuerpo**, y que se propagan en todas las direcciones produciendo lo que definimos como terremotos, se diferencian claramente en dos tipos:

Las **Ondas Longitudinales** son las que producen vibraciones de las partículas en la misma dirección de la propagación, generando compresión y dilatación del material.

Las **Ondas Transversales** son las que producen vibraciones de las partículas en la dirección perpendicular a la propagación, generando esfuerzos cortantes o de cizalla.

Cuando estas ondas internas llegan a un fuerte contraste de densidades y de módulos elásticos, lo que ocurre fundamentalmente en la superficie del material, se genera otro tipo de ondas que se conoce como **Ondas Superficiales**.

### 2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS

La siguiente figura corresponde a un senoide que es la representación gráfica de una onda.

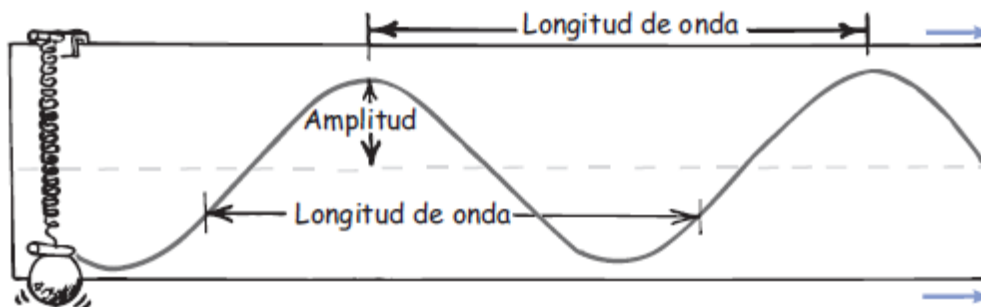


Figura 2.6 Representación de elementos de una onda<sup>11</sup>

Al igual que con una onda de agua, a los puntos altos de una senoide se les llama crestas; y a los puntos bajos, valles. La línea recta punteada representa la posición "inicial", o el

<sup>11</sup> Imagen tomada de (Hewitt, 2007)

“punto medio” de la vibración. Se aplica el término amplitud para indicar la distancia del punto medio a la cresta (o valle) de la onda. Así, la amplitud es igual al desplazamiento máximo respecto al equilibrio. La longitud de onda es la distancia desde la cima de una cresta hasta la cima de la siguiente cresta. También, longitud de onda es la distancia entre cualesquiera dos partes idénticas sucesivas de la onda. Las longitudes de onda de las olas en una playa se miden en metros; las de las ondulaciones en un estanque, en centímetros; y las de la luz, en milésimas de millonésimas de metro (nanómetros).

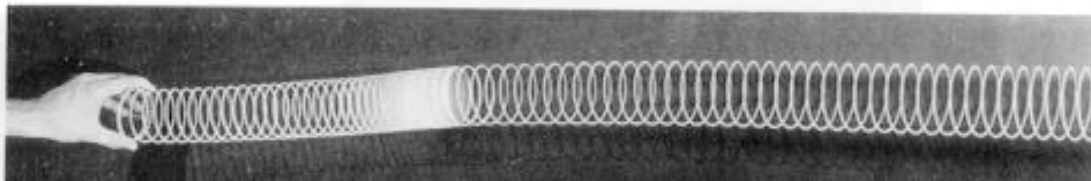
La rapidez de repetición en una vibración se describe como frecuencia. La frecuencia de un péndulo oscilante, o de un objeto fijo a un resorte, indica la cantidad de oscilaciones o vibraciones que efectúa en determinado tiempo (que por lo general es un segundo). Una oscilación completa de ida y vuelta es una vibración.

#### 2.1.4 TIPOS DE ONDAS

Las ondas se clasifican de acuerdo con la forma de afectación del medio con relación a la dirección de propagación.

- *ONDA LONGITUDINAL*

La perturbación es paralela a la dirección en la que la onda se propaga. Las ondas sonoras son ondas longitudinales



*Figura 2.7 Onda longitudinal vista en un resorte<sup>12</sup>*

- *ONDA TRANSVERSAL*

Son aquellas para las cuales; la perturbación que se propaga es perpendicular a la dirección de propagación. Al producir una onda en una cuerda agitando el extremo libre hacia arriba y hacia abajo, se está produciendo una onda transversal. En este caso el

---

<sup>12</sup> Tomado de <http://www.artinaid.com/2013/04/el-sonido/>

movimiento del medio (cuerda) es perpendicular a la dirección del movimiento de la onda. Las ondas producidas en los instrumentos musicales y en las superficies de los líquidos son transversales. También las ondas electromagnéticas que constituyen las ondas de radio y la luz son transversales.

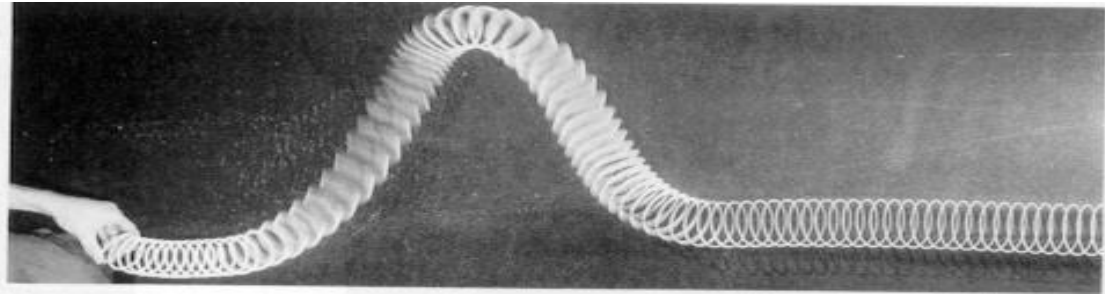


Figura 2.8 Onda transversal vista en un resorte<sup>13</sup>

## 2.2 EL INTERIOR DE LA TIERRA



Figura 2.9 Mina más profunda en África<sup>14</sup>

¿Cómo se conoce la composición y la estructura del interior de la Tierra?». Puede suponer que se han extraído muestras del interior de la Tierra directamente. Sin embargo, la mina más profunda del mundo (la mina Western Deep Levels, en Sudáfrica) tiene una

<sup>13</sup> Tomado de <http://www.artinaid.com/2013/04/el-sonido/>

<sup>14</sup> Imagen tomada de Google Earth

profundidad de tan sólo 4 kilómetros, y la perforación más profunda del mundo (terminada en la península de Kola, en Rusia, en 1992) sólo penetra aproximadamente 12 kilómetros.

En esencia, los seres humanos nunca han perforado un agujero en el manto (y nunca lo harán en el núcleo) con el fin de sacar muestras directas de estos materiales. A pesar de estas limitaciones, se han desarrollado teorías que describen la naturaleza del interior de la Tierra y que coinciden con la mayoría de los datos procedentes de las observaciones.



Figura 2.10 Ubicación de mina "Western Deep Levels"<sup>15</sup>

(Tarbuck & Lutgens, 2005) Así, nuestro modelo del interior de la Tierra representa las mejores deducciones que podemos hacer según los datos disponibles. Por ejemplo, la estructura en capas de la Tierra se ha establecido mediante observaciones indirectas. Cada vez que se produce un terremoto, unas ondas de energía (denominadas *ondas sísmicas*) penetran en el interior de la Tierra, de una manera parecida a como los rayos X penetran en el cuerpo humano.

Las ondas sísmicas cambian de velocidad y se desvían y reflejan al atravesar zonas con propiedades distintas. Un amplio conjunto de estaciones en todo el mundo detecta y registra esta energía. Con la ayuda de computadores, se analizan estos datos, que luego se utilizan para determinar la estructura del interior de la Tierra.

---

<sup>15</sup> Imagen tomada de Google Earth



## 2.2.1 CAPAS DEFINIDAS POR SU COMPOSICIÓN

La separación en capas de distinta composición se produjo probablemente por la estratificación por densidades que tuvo lugar durante el período de fusión parcial de las primeras etapas de la historia de la Tierra. Durante este período, los elementos más pesados, principalmente el hierro y el níquel, se fueron hundiendo a medida que los componentes rocosos más ligeros flotaban hacia arriba. Esta segregación del material sigue ocurriendo todavía, pero a un ritmo mucho más reducido. Debido a esta diferenciación química, el interior de la Tierra no es homogéneo, consiste en tres regiones principales que tienen composiciones químicas notablemente diferentes (Figura 2.11).

Las principales capas que componen la Tierra son:

- *La corteza*, capa externa comparativamente fina cuyo grosor oscila entre 3 kilómetros, en las cordilleras oceánicas, y 70 kilómetros, en algunos cinturones montañosos como los Andes y el Himalaya.
- *El manto*, una capa de roca sólida (rica en sílice) que se extiende hasta una profundidad de unos 2.900 kilómetros. Aproximadamente el 82 por ciento del volumen terrestre está contenido dentro del manto, la composición del manto procede de datos experimentales y del examen de material traído a la superficie por la actividad volcánica. Además, dado que las ondas S viajan fácilmente a través del manto, sabemos que este último se comporta como un sólido elástico.
- *El núcleo*, una esfera rica en hierro con un radio de 3.486 kilómetros. Mayor que el planeta Marte, el núcleo es la esfera central densa de la Tierra. Extendiéndose desde el borde inferior del manto hasta el centro de la Tierra, el núcleo constituye alrededor de una sexta parte del volumen de la Tierra y casi una tercera parte de su masa total. La presión en el centro es millones de veces mayor que la presión del aire en la superficie, y las temperaturas pueden superar los 6.700 °C. A medida que se obtenían datos sísmicos más precisos, se descubría que el núcleo consiste en una capa externa líquida de unos 2.270 kilómetros de grosor y una esfera interna sólida con un radio de 1.216 kilómetros.

Una de las características más interesantes del núcleo es su gran densidad. Su densidad media es de aproximadamente 11 g/cm<sup>3</sup>, y en el centro de la Tierra se aproxima a 14 veces

la densidad del agua. Por consiguiente, se intentó determinar qué material podría explicar esta propiedad.

Sorprendentemente, los meteoritos proporcionan una pista importante sobre la composición interna de la Tierra. Dado que los meteoritos son parte del Sistema Solar, se supone que son muestras representativas del material a partir del cual se desarrolló la Tierra en su origen. Su composición oscila entre meteoritos de tipo metálico, fundamentalmente compuestos por hierro y cantidades menores de níquel, y meteoritos rocosos. Dado que la corteza y el manto de la Tierra contienen un porcentaje mucho menor de hierro del que se encuentra en los restos del Sistema solar, los geólogos concluyeron que el interior de la Tierra debe estar enriquecido en este metal pesado. Además, el hierro es, la sustancia más abundante del Sistema Solar que posee las propiedades sísmicas y una densidad que recuerda la estimada para el núcleo. Cálculos actuales sugieren que el núcleo es fundamentalmente hierro con un 5 a un 10 por ciento de níquel y menores cantidades de elementos más ligeros, entre ellos, quizás, azufre y oxígeno.

### 2.2.2 CAPAS DEFINIDAS POR SUS PROPIEDADES FÍSICAS

El interior de la Tierra se caracteriza por un aumento gradual de la temperatura, la presión y la densidad con la profundidad. Los cálculos sitúan la temperatura a una profundidad de 100 kilómetros entre los 1.200 °C y los 1.400 °C, mientras que la temperatura del centro de la Tierra superaría los 6.700 °C. Está claro que el interior de la Tierra ha retenido gran parte de la energía adquirida durante los años en que se formó, a pesar de que el calor se transfiere de manera continua hacia la superficie, donde se pierde en el espacio. El aumento de la presión con la profundidad provoca un incremento correspondiente de la densidad de las rocas.

El aumento gradual de la temperatura y la presión con la profundidad afecta las propiedades físicas y, por tanto, el comportamiento mecánico de los materiales terrestres. Cuando se calienta una sustancia, sus enlaces químicos se debilitan y su comportamiento mecánico cambia. Si la temperatura supera el punto de fusión de un material terrestre, los enlaces químicos del material se rompen y se produce la fusión. Si la temperatura fuera el único factor que determina si una sustancia se funde, nuestro planeta sería una esfera fundida cubierta por una corteza externa delgada y sólida. Sin embargo, la presión también aumenta con la profundidad y tiende a incrementar la resistencia de las rocas. Además,

puesto que la fusión va acompañada de un aumento del volumen, se realiza a temperaturas más elevadas en profundidad debido a la mayor presión de confinamiento.

Por tanto, según el entorno físico (temperatura y presión), un material terrestre particular puede comportarse como un sólido frágil, deformarse como la masilla o incluso fundirse y convertirse en líquido.

La Tierra puede dividirse en cinco capas principales según sus propiedades físicas y, por tanto, su comportamiento mecánico: *la litósfera, la astenósfera, la mesósfera (manto inferior), el núcleo externo y el núcleo interno.*

- **Litósfera:** la capa más externa de la Tierra está formada por la corteza y el manto superior y forma un caparazón relativamente frío y rígido. Aunque esta capa está compuesta por materiales con composiciones químicas notablemente diferentes, tiende a actuar como una unidad que exhibe un comportamiento rígido, principalmente porque es fría y, por tanto, fuerte. Esta capa, denominada **litosfera** (*esfera de roca*), tiene un grosor medio de 100 kilómetros, pero puede extenderse 250 kilómetros o más por debajo de las porciones más antiguas de los continentes. Dentro de las cuencas oceánicas, la profundidad de la litosfera es de sólo unos pocos kilómetros debajo de las dorsales oceánicas y aumenta hasta casi 100 kilómetros en las regiones de la corteza oceánica más antiguas y más frías.
- Debajo de la litósfera, en el manto superior (a una profundidad de unos 660 kilómetros), se extiende una capa blanda, relativamente débil, conocida como **astenósfera** (*esfera débil*). En la parte superior de la astenósfera se dan unas condiciones de temperatura/presión que provocan una pequeña cantidad de fusión. Dentro de esta zona de debilidad, la litósfera está mecánicamente despegada de la capa inferior. El resultado es que la litósfera puede moverse con independencia de la astenósfera. Es importante destacar que la resistencia de los diversos materiales terrestres es en función de su composición, así como de la temperatura y la presión de su entorno. No debe concluirse, por lo tanto que toda la litósfera se comporta como un sólido frágil parecido a las rocas que se encuentran en la superficie. Antes bien, las rocas de la litósfera se calientan y se debilitan (se deforman más fácilmente) progresivamente al aumentar la profundidad. A la profundidad de la astenósfera superior, las rocas están lo suficientemente cerca de

su temperatura de fusión (de hecho, puede producirse algo de fusión) como para que se deformen con facilidad. Por tanto, la astenósfera superior es débil porque está cerca de su punto de fusión, de la misma manera que la cera caliente es más plástica que la cera fría.

- **Mesósfera o manto inferior** Por debajo de la zona de debilidad de la astenósfera superior, la mayor presión contrarresta los efectos de la temperatura más elevada y las rocas son gradualmente más resistentes con la profundidad. Entre las profundidades de 660 kilómetros y 2.900 kilómetros, se encuentra una capa más rígida llamada **mesósfera** (*esfera media*) o **manto inferior** (Figura 2.11). A pesar de su resistencia, las rocas de la mesosfera están todavía muy calientes y pueden fluir de una manera muy gradual.

*Núcleo interno y externo* El núcleo, que está compuesto principalmente por una aleación de hierro y níquel, se divide en dos regiones que exhiben comportamientos mecánicos muy diferentes.

- El **núcleo externo** es una capa *líquida* de 2.270 kilómetros de espesor. El flujo convectivo del hierro metálico en el interior de esta zona es el que genera el campo magnético de la Tierra.
- El **núcleo interno** es una esfera con un radio de 3.486 kilómetros. A pesar de su temperatura más elevada, el material del núcleo interno es más fuerte (debido a la inmensa presión) que el núcleo externo y se comporta como un sólido. El núcleo interno tiene un radio de unos 1.216 kilómetros. Además, las ondas P que atraviesan el núcleo interno tienen velocidades medias apreciablemente más rápidas que las que sólo penetran en el núcleo externo.

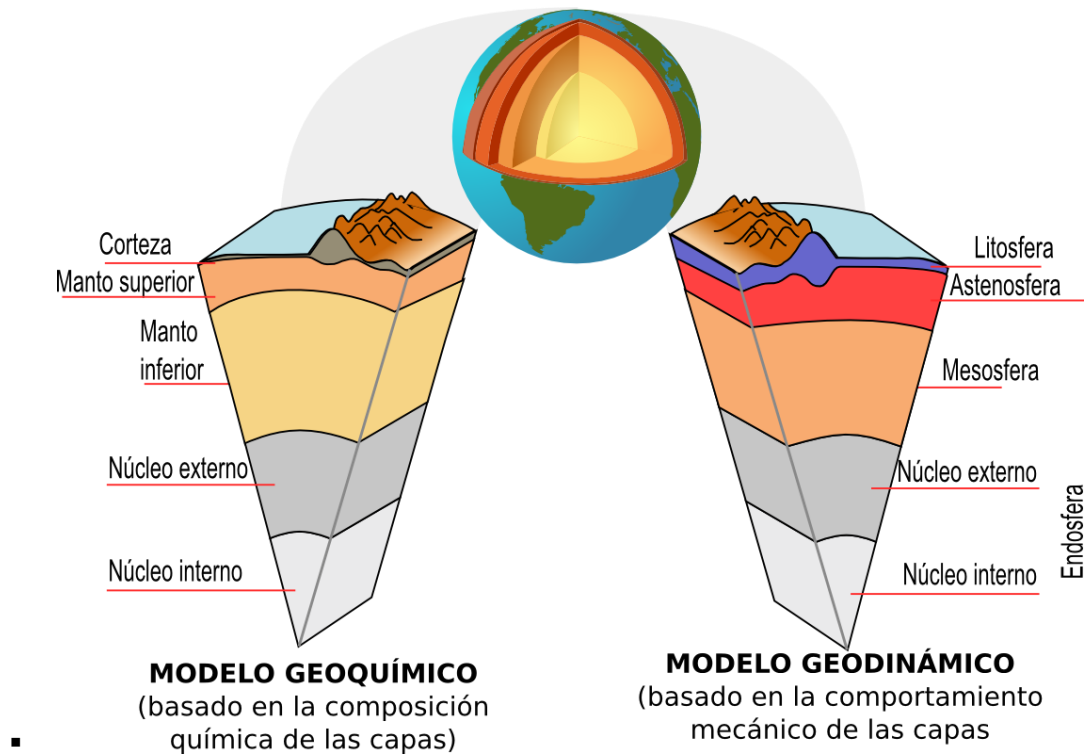


Figura 2.11 Modelos que explican la dinámica terrestre<sup>16</sup>

El lado izquierdo de la sección transversal principal muestra que el interior de la Tierra se divide en tres capas diferentes según las diferencias composicionales: la corteza, el manto y el núcleo. El lado derecho de la sección transversal del globo representa las cinco principales capas del interior de la Tierra según sus propiedades físicas y, por tanto, su resistencia mecánica: la litósfera, la astenósfera, la mesosfera, el núcleo externo y el núcleo interno. Los diagramas en bloque encima de la sección transversal del globo muestran una vista ampliada de la porción superior del interior de la Tierra.

<sup>16</sup> Imagen tomada de <http://metodo2013.blogspot.com/2014/10/de-la-contradiccion-catastrofismo-vs.html>

## 2.3 ONDAS SÍSMICAS

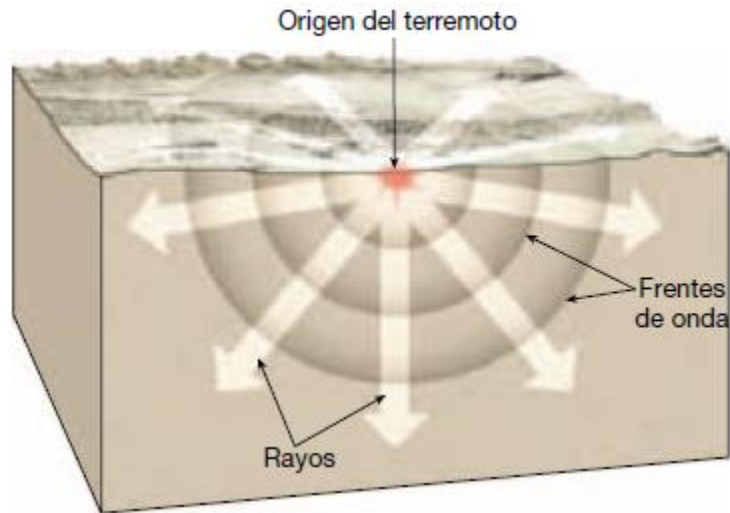


Figura 2.12 Representación de la forma en que viaja la energía<sup>17</sup>

Para examinar la composición y la estructura de la Tierra, primero debemos estudiar algunas de las propiedades básicas de la transmisión de las ondas, o *propagación*. La energía sísmica viaja desde su origen en todas las direcciones en forma de ondas. (Con fines descriptivos, la práctica común es considerar el camino seguido por estas ondas como *rayos*, o vectores perpendiculares al frente de la onda, como se muestra en la Figura 2.12).

Entre las características significativas de las ondas sísmicas se cuentan:

1. La velocidad de las ondas sísmicas depende de la densidad y la elasticidad de los materiales que atraviesan. Las ondas sísmicas viajan más deprisa en los materiales rígidos, que retornan elásticamente a sus formas originales cuando cesa el esfuerzo causado por una onda sísmica. Por ejemplo, una roca cristalina transmite las ondas sísmicas más deprisa que una capa de lodo no consolidada.

---

<sup>17</sup> Tomado de <http://www.biogeo.esy.es/BG4ESO/estructuratierra.htm>

2. Dentro de una capa determinada, la velocidad de las ondas sísmicas aumenta generalmente con la profundidad, porque la presión aumenta y comprime la roca transformándola en un material elástico más compacto.

3. Las ondas compresivas (ondas P), que vibran hacia atrás y hacia delante en el mismo plano que su dirección de movimiento, son capaces de propagarse a través de líquidos y sólidos, porque, cuando están comprimidos, esos materiales se comportan elásticamente, es decir, se oponen a un cambio de volumen y, como una tira de goma, vuelven a su forma original cuando pasa la onda (Figura 2.13).

4. Las ondas de cizalla (ondas S), que vibran en ángulo recto con respecto a su dirección de desplazamiento, no pueden propagarse a través de los líquidos, porque, a diferencia de los sólidos, los líquidos no se oponen a la cizalla (Figura 2.15). Es decir, cuando los líquidos son sometidos a fuerzas que actúan para cambiar sus formas, simplemente fluyen.

5. En todos los materiales, las ondas P viajan más deprisa que las ondas S.

6. Cuando las ondas sísmicas pasan de un material a otro, la trayectoria de la onda se refracta. Además, la **discontinuidad** (el límite entre los dos materiales diferentes) refleja algo de la energía. Esto es similar a lo que ocurre a la luz cuando pasa del aire al agua. Por tanto, dependiendo de la naturaleza de las capas a través de las cuales pasen, las ondas sísmicas van más rápidas o más lentas, y pueden refractarse o reflejarse. Se produce refracción siempre que el rayo no se desplace perpendicularmente al límite entre dos medios. Estos cambios medibles en los movimientos de las ondas sísmicas permiten a los sismólogos sondear el interior de la Tierra.

### 2.3.1 ONDAS P

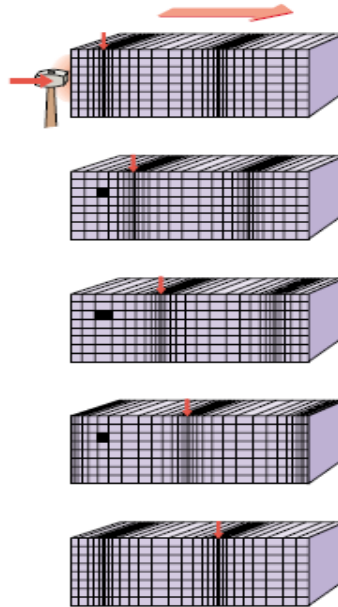


Figura 2.13 Ondas P<sup>18</sup>

El paso de las ondas P hace que el material experimente compresiones y expansiones alternas. Dado que los líquidos se comportan elásticamente cuando son comprimidos (recuperan su forma original cuando cesa el esfuerzo), transmitirán las ondas P.

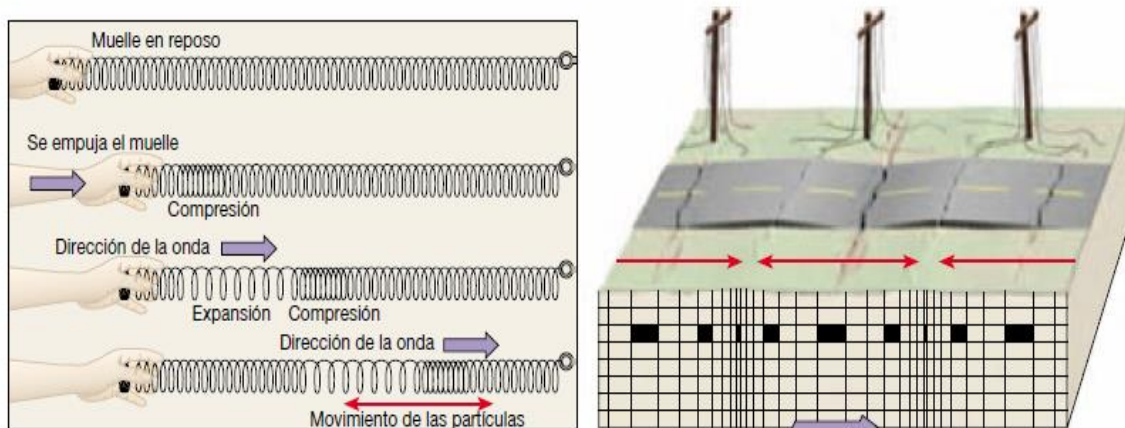


Figura 2.14 Onda sísmica P y su movimiento característico<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> Tomado de O.M. Phillips. The Heart of the earth, San Francisco, Freeman, Cooper y Co, 1968)

<sup>19</sup> (Tarbuck & Lutgens, 2005)



Como se ilustra con un resorte, las ondas P son ondas de dilatación que alternan la compresión y la expansión del material que atraviesan. El movimiento hacia delante y hacia atrás producido cuando las ondas de compresión recorren la superficie puede hacer que el terreno se doble y se fracture.

### 2.3.2 ONDAS S

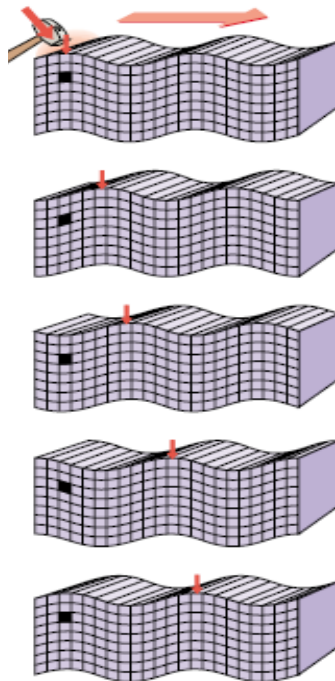


Figura 2.15 Ondas S<sup>20</sup>

El paso de las ondas S produce un cambio de forma sin modificar el volumen del material. Sin embargo, ya que los líquidos no permiten los cambios de forma, las ondas S no se pueden transmitir a través de los líquidos. (Phillips, 1968)

---

<sup>20</sup> Tomado de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

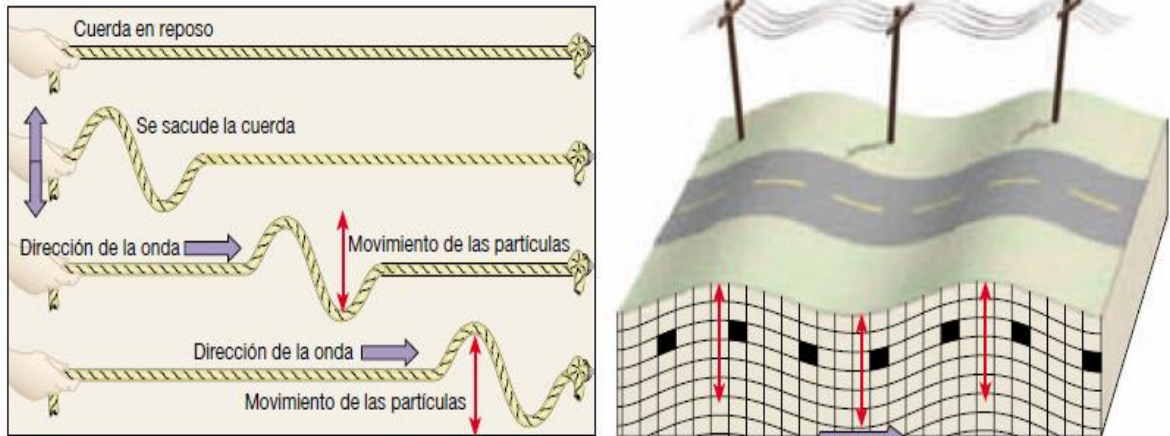


Figura 2.16 Onda sísmica S y su movimiento característico<sup>21</sup>.

Las ondas S hacen que el material oscile en ángulo recto con la dirección del movimiento de la onda. Dado que las ondas S pueden desplazarse en cualquier plano, producen vibraciones vertical y lateral.

### 2.3.3 ONDAS SUPERFICIALES

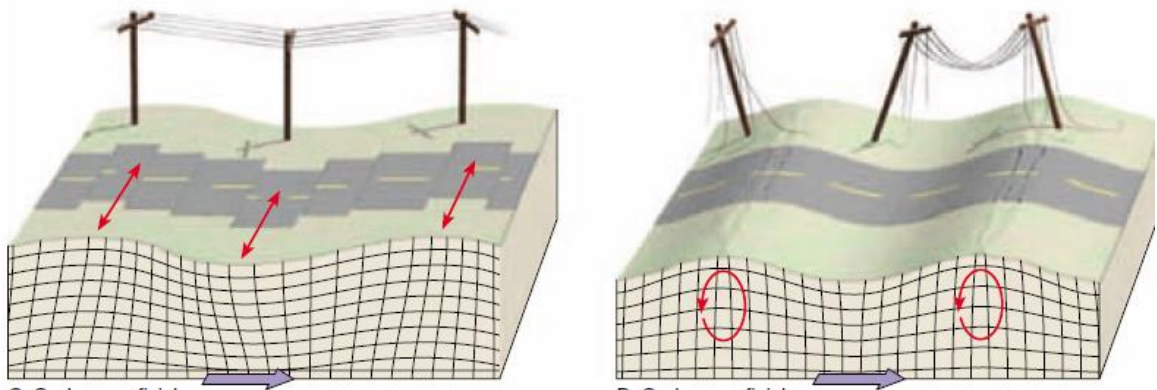


Figura 2.17 Ondas superficiales<sup>22</sup>.

<sup>21</sup> Imagen tomada de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

<sup>22</sup> Imagen tomada de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Un tipo de onda superficial es, en esencia, el mismo que el de una onda S que exhibe sólo movimiento horizontal. Este tipo de onda superficial mueve el terreno de un lado a otro y puede ser particularmente dañino para los cimientos de los edificios. Otro tipo de onda superficial recorre la superficie terrestre de una manera muy parecida a las olas oceánicas fuertes. Las flechas muestran el movimiento elíptico de la roca cuando pasa la onda.

## 2.4 REFRACCIÓN

La **refracción** es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación entre los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda.

Puesto que la refracción depende de cambios en la rapidez de la onda, podríamos preguntarnos qué parámetros físicos determinan esa rapidez. En general, hay dos tipos de situaciones. El tipo más sencillo de onda es una cuya rapidez *no* depende de su longitud de onda (o su frecuencia). Todas esas ondas viajan con la misma rapidez, la cual depende exclusivamente de las propiedades del medio. Estas ondas se denominan *ondas no dispersivas* porque no se dispersan, es decir, no se separan entre sí. Un ejemplo de onda no dispersiva es una onda en una cuerda, cuya rapidez, depende únicamente de la tensión y de la densidad de masa de la cuerda.

El sonido es una onda longitudinal no dispersiva; la rapidez del sonido (en aire) depende únicamente de la compresibilidad y la densidad del aire. De hecho, si la rapidez del sonido dependiera de la frecuencia, al fondo de una sala de conciertos se podría oír los violines antes que los clarinetes, aunque ambas ondas sonoras estuvieran perfectamente sincronizadas cuando salieron del foso de la orquesta.

Cuando la rapidez *sí* depende de la longitud de onda (o la frecuencia), decimos que las ondas tienen **dispersión**: ondas de distinta frecuencia se separan unas de otras.

Aunque la luz no se dispersa en el vacío, cuando entra en algún medio sus ondas si se separan. Por ello los prismas separan la luz solar para dar un espectro de color, y es la base para la formación de los arcoíris,



*Figura 2.18 Fenómeno de la refracción<sup>23</sup>.*

Cuando una onda ultrasónica pasa a través de una interfaz entre dos materiales en un ángulo oblicuo, y los materiales tienen diferentes índices de refracción, se producen dos ondas reflejadas y refractadas. Esto también ocurre con la luz, por lo que los objetos vistos a través de una interfaz parecen estar desplazado con respecto a donde realmente son.

Por ejemplo, si se mira hacia abajo en un objeto en la parte inferior de un vaso de agua, parece más cerca de lo que realmente está. Una buena forma de visualizar cómo sucede la refracción de la luz es hacer brillar una linterna en un recipiente con agua ligeramente impregnada de leche y observando el ángulo de refracción con respecto al ángulo de incidencia.

---

<sup>23</sup> Tomado de

<https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/refractionsnells.htm>

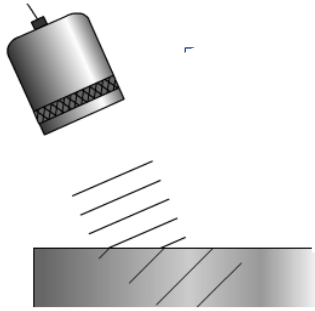
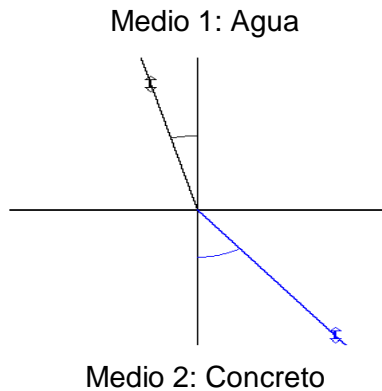


Figura 2.19 Refracción de la luz<sup>24</sup>.

Un ejemplo de este fenómeno se ve cuando se sumerge un lápiz en un vaso con agua: el lápiz parece quebrado. También se produce refracción cuando la luz atraviesa capas de aire a distinta temperatura, de la que depende el índice de refracción. Los espejismos son producidos por un caso extremo de refracción, denominado reflexión total. Aunque el fenómeno de la refracción se observa frecuentemente en ondas electromagnéticas como la luz, el concepto es aplicable a cualquier tipo de onda.

Veamos algunos ejemplos de cómo la dirección de la onda y la velocidad varían al cambiar de medio. El ángulo del rayo incidente en ambos casos es el mismo. *La onda refractada se muestra en azul.*

Ejemplo 1. Onda que pasa de agua a concreto



Ejemplo 2 Onda que pasa de agua a acero inoxidable

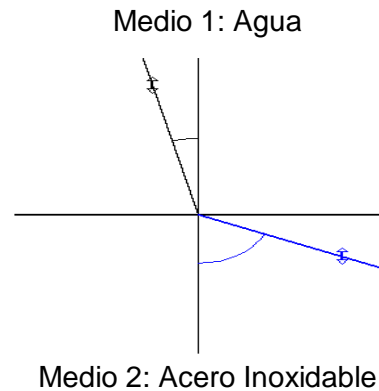


Figura 2.20 Ejemplos de refracción <sup>24</sup>

<sup>24</sup> Tomado de [https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/applet\\_2\\_8/applet](https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/applet_2_8/applet)

### 2.4.1 MEDIO (Índice de refracción)

El índice de refracción es una magnitud adimensional. El valor del índice de refracción del vacío es igual a la unidad. El índice de refracción del aire es aproximadamente igual a 1. El índice de refracción depende no solo de la sustancia, sino también de la longitud de onda [ $n = f(\lambda)$ ].

El índice de refracción del medio dado con respecto al vacío se llama *índice absoluto de refracción* de este medio. En mayoría de los casos la palabra *absoluto* se omite, por lo que cuando se habla del índice de refracción de una sustancia dada se entiende que se trata del *absoluto*.

La magnitud 
$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

Donde  $n_1$  es el índice absoluto de refracción del medio 1 y  $n_2$  es el índice de refracción absoluto del medio 2, se llama *índice relativo de refracción* del segundo medio con respecto al primero.

Entre dos medios cuyos índices de refracción son diferentes, el medio con menor índice de refracción se denomina *ópticamente menos denso*, y el medio con mayor índice, *ópticamente más denso*.

El medio cuyo índice de refracción  $n$  es igual en todos los puntos se llama homogéneo. Y el medio en el cual el índice de refracción  $n$  no depende de la dirección de propagación de la onda luminosa se denomina isótropo.

## 2.5 LEY DE SNELL

La más famosa e importante contribución de *Willebrord van Royen Snell*, es la Ley de la refracción de la luz conocida como Ley de Snell, describe cómo las ondas de luz varían al cambiar de un medio a otro. Este matemático holandés también hizo contribuciones a las teorías de la navegación y de la geometría.

La Ley de Snell describe la relación entre los ángulos de incidencia y las velocidades de las ondas.

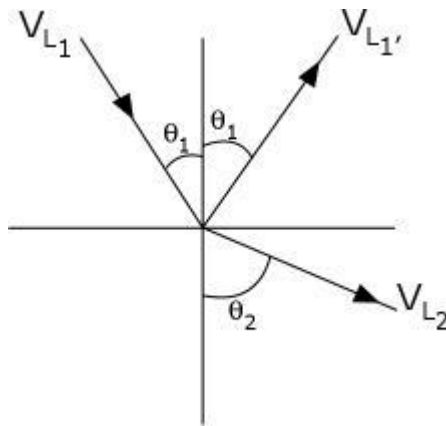


Figura 2.21 Rayos reflejados y refractados<sup>25</sup>

La ley de Snell iguala la relación de las velocidades materiales  $V_1$  y  $V_2$  a la relación de los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, como se muestra en la siguiente ecuación

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{seno del ángulo de incidencia}}{\text{seno del ángulo de refracción}}$$

De otra manera:

$$\frac{\sin \theta_1}{V_{L_1}} = \frac{\sin \theta_2}{V_{L_2}}$$

Donde:

$V_{L_1}$  Es la velocidad onda en el material 1

---

<sup>25</sup> Tomado de [https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/applet\\_2\\_8/applet](https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/applet_2_8/applet)

$V_{L_2}$  Es la velocidad de la onda en el material 2.

En la Figura 2.21, hay una onda longitudinal reflejada ( $V_{L1}$ ). Esta onda se refleja en el mismo ángulo que la onda incidente debido a que las dos ondas están viajando en el mismo material, y por lo tanto tienen las mismas velocidades. Esta onda reflejada no es importante en nuestra explicación de la ley de Snell, pero hay que recordar que parte de la energía de las ondas se refleja en la interfaz.

La ley de Snell se utiliza para determinar la dirección de los rayos de luz a través de los medios con diferentes índices de refracción. Los índices de refracción de los medios, se usan para representar el factor por el cual la velocidad de un rayo de luz disminuye cuando se viaja a través de un medio de refracción, tales como el vidrio o el agua, en contraposición a su velocidad en el vacío.

Como la luz pasa a la frontera entre los medios, dependiendo de los índices de refracción relativos de los dos medios, ya sea la luz se refracta en un ángulo menor, o uno mayor. Estos ángulos se miden con respecto a la línea normal, representada perpendicular a la frontera. En el caso de la luz que viaja por el aire hacia el agua, la luz se refracta hacia la línea normal, porque la luz se hace más lenta en el agua, la luz que viaja del agua al aire se refracta lejos de la línea normal.

La refracción entre dos superficies también se considera reversible porque si todas las condiciones fueron idénticas, los ángulos sería el mismo para luz que se propaga en la dirección opuesta.

La ley de Snell es válida en general sólo para medios isótropos. En los medios anisotrópicos, tales como algunos cristales, la birrefringencia puede dividir el rayo refractado en dos rayos, un rayo que sigue la ley de Snell, y otro rayo que puede no ser coplanario con el rayo incidente.

Cuando la luz o de otro tipo de onda en cuestión es monocromática, es decir, de una sola frecuencia, la ley de Snell también se puede expresar en términos de una relación de longitudes de onda en los dos medios, 1 y 2.



## 2.6 SÍSMICA DE REFRACCIÓN

El **método sísmico de refracción** se basa, tanto en el hecho de la diferencia de velocidad de la onda sísmica en los distintos terrenos, como en que las ondas al cruzar la frontera entre dos tipos de terreno distinto sufren refracción (al igual que sucede con las ondas de luz), cambiando su dirección en un ángulo cuyo valor depende de la relación entre las velocidades de onda de cada terreno.



*Figura 2.22 Geófono electromagnético<sup>26</sup>*

El impulso generador de la onda puede ser un impacto o una pequeña carga explosiva que se coloca, generalmente, en un punto de la superficie. Mediante geófonos (que son detectores de pequeñas vibraciones en el terreno), dispuestos a distintas distancias del punto de impacto, se mide el momento en que llega la primera onda que alcanza a un determinado geófono. De esta forma se obtiene la velocidad de transmisión.

---

<sup>26</sup> Tomado de <http://www.strutturista.com/2011/03/lindagine-sismica-a-rifrazione/>

Cuando se produce el impulso, las ondas se emiten en todas direcciones. Una onda en particular recorre un camino por la superficie del terreno en dirección al geófono (onda directa). Otras ondas descienden con diversos ángulos respecto a la horizontal. Al encontrar un estrato inferior con velocidades sísmicas, la onda se refracta en el plano de contacto entre ambos terrenos.

Existe una dirección de onda que al alcanzar el estrato inferior con un determinado ángulo de incidencia, su refracción se dirige por encima del estrato inferior paralelamente a la frontera entre terrenos. Esta onda, con su nueva dirección, continúa emitiendo energía hacia la superficie con un ángulo de refracción simétrico al de incidencia anterior, por lo que los geófonos pueden llegar a detectarla.

Si la velocidad sísmica del terreno inferior tiene un valor mayor que la del terreno superficial, el tiempo necesario para que la onda refractada alcance un punto de la superficie puede llegar a ser menor que el requerido por la onda directa que viaja superficialmente, aun cuando la longitud del camino sea mayor. Los geófonos cercanos al impulso reciben en primer lugar la onda directa, pero a los que se encuentran a una cierta distancia les alcanza antes la onda refractada.

Cuando una onda sísmica encuentra un cambio en las propiedades elásticas del material, como es el caso de una interface entre dos capas geológicas; parte de la energía continúa en el mismo medio (onda incidente), parte se refleja (ondas reflejadas) y el resto se transmite al otro medio (ondas refractadas) con cambios en la dirección de propagación, en la velocidad y en el modo de vibración (Figura 2.27). Las leyes de la reflexión y la refracción se derivan por el principio de Huygens cuando se considera un frente de onda que incide sobre una interface plana. El resultado final es que ambas leyes se combinan en un único planteamiento: en una interface el parámetro de rayo, debe tener el mismo valor para las ondas incidentes, reflejadas y refractadas. Si el medio consta de un cierto número de capas paralelas, la ley de Snell establece que el parámetro del rayo tiene que ser el mismo para todos los rayos reflejados y refractados resultantes de un rayo inicial dado

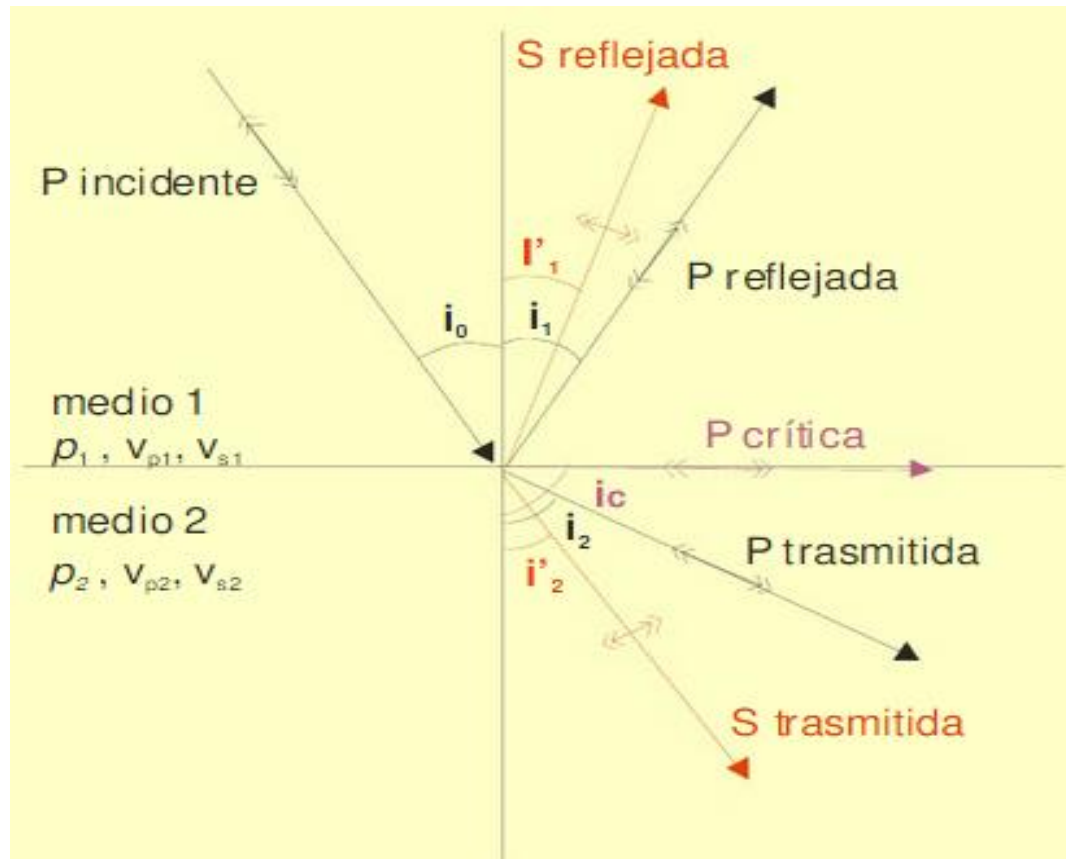


Figura 2.23 Ondas reflejadas y refractadas<sup>27</sup>

Las ondas sísmicas que viajan por subsuelo se reflejan y se refractan siguiendo la ley de Snell. La cantidad de energía de las ondas incidentes se reparte entre las ondas reflejadas, las refractadas y la absorción natural del terreno

La sismica de refracción realizó grandes aportes a la prospección sísmica en sus comienzos. Hasta la década de los 60 fue extremadamente popular, especialmente en la exploración de cuencas sedimentarias donde contribuyó al descubrimiento de grandes campos de petróleo; posteriormente quedó relegada por los avances del método de reflexión que proporcionaba una información más detallada. Sin embargo, debido a su menor costo y al tipo de información que proporciona (campo de velocidades) la sismica de refracción es un potente método que actualmente se emplea tanto en estudios de

<sup>27</sup> Tomado de <http://dc531.4shared.com/doc/bN36WIRx/preview.html>

estructuras profundas de la corteza terrestre como en estudios del subsuelo más inmediato (rellenos anisotrópicos, compactación de los materiales, entre otros)

El método se basa en la medición del tiempo de viaje de las ondas refractadas críticamente en las interfaces entre las capas con diferentes propiedades físicas; fundamentalmente por contraste entre impedancias acústicas ( $i = \rho \cdot v$ ; en donde  $\rho$  es la densidad y  $v$  la velocidad de la capa).



Figura 2.24 Momento 1 del movimiento de las ondas sísmicas<sup>28</sup>

En el momento inicial, las ondas superficiales más lentas llegan primero a la estación sísmica 1

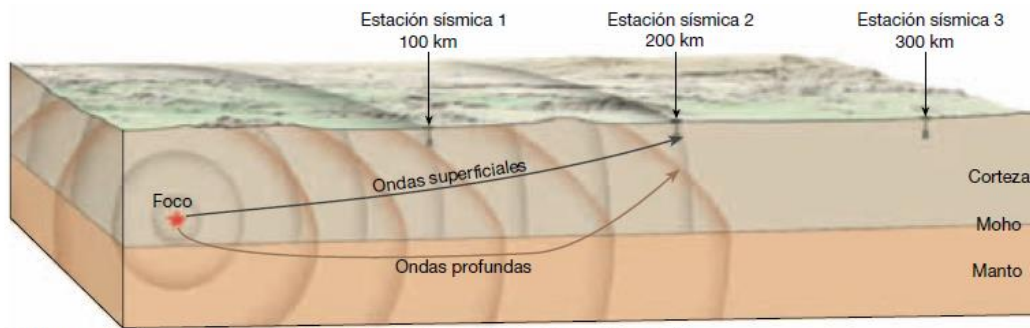


Figura 2.25 Momento 2 del movimiento de las ondas sísmicas<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Tomado de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

<sup>29</sup> Tomado de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

Las ondas superficiales más lentas llegan primero a la estación sísmica 2

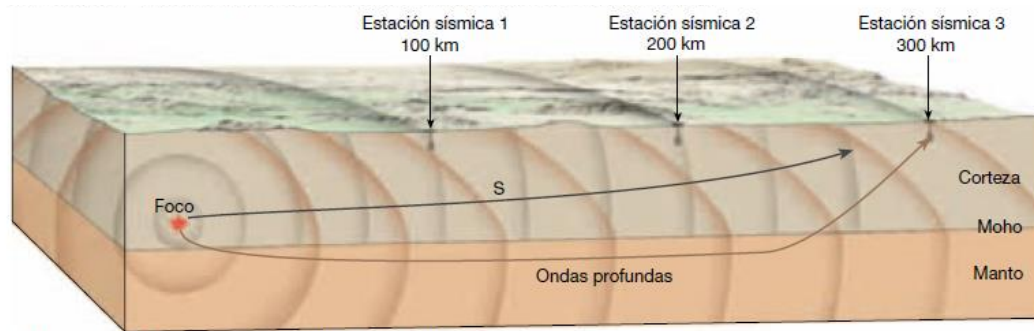


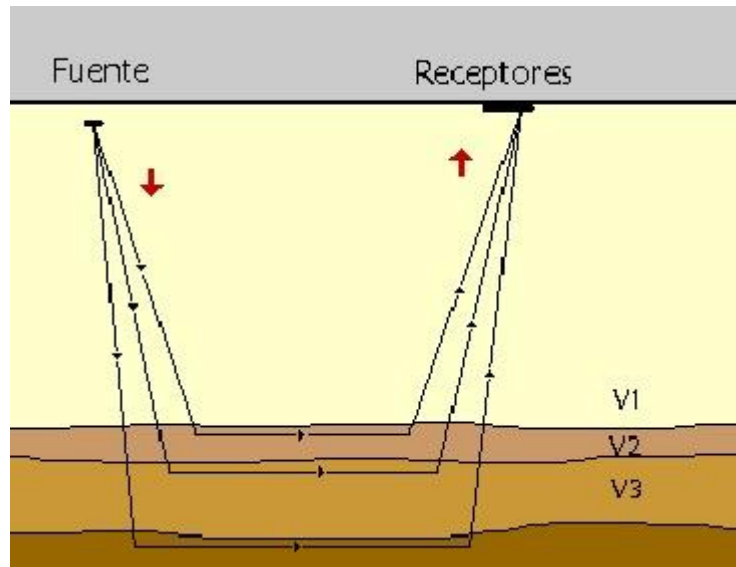
Figura 2.26 Momento 3 del movimiento de las ondas sísmicas<sup>30</sup>.

Las ondas más profundas y más rápidas llegan primero a la estación sísmica 3 más alejada del foco.

Las figuras 2.24, 2.25, y 2.26 muestran las trayectorias idealizadas de las ondas sísmicas que viajan desde el foco de un terremoto a tres estaciones sismográficas. En la figura 2.24 y 2.25 pueden verse que las dos estaciones de registro más próximas reciben primero las ondas más lentas, porque las ondas viajaron una distancia más corta. Sin embargo, como se muestra en la figura 2.26, después de 200 kilómetros, las primeras ondas recibidas atravesaron el manto, que es una zona de mayor velocidad.

La energía sísmica, en el método de prospección sísmica se genera mediante un impacto controlado en superficie (o a una determinada profundidad) que va propagándose en forma de onda elástica a través del subsuelo interaccionando con las distintas capas, de manera que una parte de la energía se refleja y permanece en el mismo medio que la energía incidente, y el resto se transmite al otro medio con un fuerte cambio de la dirección de propagación debido al efecto de la interface (refracción). De esta interacción, la sísmica de refracción solo considera las refracciones con ángulo crítico ya que son las únicas ondas refractadas que llegan a la superficie y pueden ser captadas por los geófonos (Figura 2.27)

<sup>30</sup> Tomado de (Tarbuck & Lutgens, 2005)



*Figura 2.27 Esquema de la sismica de refracción<sup>31</sup>*

La sismica de refracción utiliza los tiempos de primeras llegadas del sismograma que corresponden a las ondas refractadas críticamente en las distintas capas del subsuelo. Cada una de estas capas se distingue por su impedancia acústica y se le llama refractor. El resultado de este método es una imagen sísmica del terreno en forma de campo de velocidades  $[V(x, z)]$ ; que posteriormente será interpretado geológicamente.

---

<sup>31</sup> Tomado de <http://dc531.4shared.com/doc/bN36WIRx/preview.html>

## 3 FUNDAMENTACIÓN PEDAGÓGICA

### 3.1 LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA

La estrategia didáctica se concibe como la planificación del proceso de enseñanza aprendizaje, para la cual el docente elige las técnicas y actividades que puede utilizar a fin de alcanzar los objetivos propuestos y las decisiones que debe tomar de manera consciente y reflexiva, esta estrategia didáctica se concreta en la escogencia de una metodología para llevar a cabo la secuencia. Es decir, la estrategia es un conjunto de acciones intencionadas, encaminadas a la enseñanza de unos grupos particulares.

Las estrategias didácticas se dividen en: estrategias de enseñanza, consideradas como procedimientos empleados por el profesor para hacer posible el aprendizaje del estudiante. Incluyen operaciones físicas y mentales para facilitar la confrontación del sujeto que aprende con el objeto de conocimiento y las estrategias de aprendizaje que corresponden a procedimientos mentales que el estudiante sigue para aprender. Es una secuencia de operaciones cognoscitivas y procedimentales que el estudiante desarrolla para procesar la información y aprenderla significativamente. (Ferreiro, 2007)

### 3.2 EL EXPERIMENTO

El experimento científico es una manipulación controlada de algún fenómeno natural, realizada por el investigador con el propósito de generar información que no se da espontáneamente, o de acelerar el tiempo y/o amplificar la magnitud con que tal información se genera. Los datos obtenidos de la inmensa mayoría de los experimentos científicos pueden servir a cualquiera de dos objetivos, que además no se excluyen mutuamente: 1) acumulación de hechos adecuadamente documentados sobre un problema específico; y 2) discriminación entre varias hipótesis que pretenden explicar un mismo proceso o segmento de la naturaleza (Pérez, 1996).

La intención del experimento, en este caso relacionado con la refracción y con la Tierra, se enfoca hacia el estudio de la información obtenida a través de sensores, para que los estudiantes analicen, descarten y planteen hipótesis a partir de estos datos.

### 3.3 MINI PROYECTOS

El modelo por mini proyectos establece una concepción de ciencia dinámica donde se reconoce a un educando activo y promotor de su propio aprendizaje y un docente promotor de un escenario dialógico, creando un ambiente de aula adecuado para configurar un proceso de enseñanza y aprendizaje significativo.

Los mini proyectos, “son pequeñas tareas que representen situaciones novedosas para los alumnos, dentro de las cuales ellos deben obtener resultados prácticos por medio de la experimentación” (Ruiz, 1995) y, presentar características como el planteamiento de un problema que no posea solución inmediata, el desarrollo de un trabajo práctico, la aplicación de conceptos y otros aspectos que muestran cómo el trabajo de aula se desarrolla dentro de un ambiente de interacción dialógica entre estudiantes y docente.

Los mini proyectos se realizan con la participación de los estudiantes del grupo en un trabajo dinámico y entusiasta, los mini proyectos planteados y desarrollados en el presente trabajo corresponden a la construcción de modelos de capas de la Tierra, registro de información en gráficos y tablas y diseño de experimentos para observar la refracción de la luz.

### 3.4 CARTILLA COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA

Resaltando que la propuesta será explícita en una cartilla, es necesario establecer cuáles son las características de una cartilla como herramienta didáctica:

- Sintética, contundente y didáctica, además de explícitamente pedagógica.
- La cartilla para la comunicación pedagógica propone formar y promover la reflexión o, al menos, ser una mediación, una herramienta, para un proceso pedagógico más amplio.



- Como mediación y ayuda a la posibilidad de una reflexión, la cartilla aporta realmente a la concreción de consecuencias pedagógicas cuando busca generar preguntas más que dar respuestas. Es importante no intentar agotar un tema o su abordaje en un material.
- La cartilla será una provocación para preguntas cada vez más profundas y más colectivas.
- La cartilla pedagógica puede ofrecer un recorrido inductivo (de lo particular a lo general) o deductivo (de lo general a lo particular). Pero su mayor desafío es generar condiciones para el pensamiento abductivo, para invitar a los lectores a construir sus propias conjeturas respecto al sentido de las cosas, los elementos de análisis y sus criterios de acción.
- La cartilla articula espacio y tiempo. La comunicación visual implica una secuencia temporal posible (o varias) que invita a una reflexión. Los caminos son muchos. Una buena forma de organizar la secuencia, es ir de lo simple a lo complejo. O, mejor: sentar al comienzo las bases y los puntos de referencia para poder adentrarse cada vez en una mayor complejidad.
- La cartilla implica una estructura y una secuencia lógica. Una introducción, un desarrollo (o varios desarrollos), un cierre.
- Tiene bloques y puede tener también secciones. Puede verse como un recorrido que debe tener ritmo y equilibrio. Es muy importante sostener la interpelación al lector en todo momento.
- El lenguaje y los elementos gráficos ocupan un lugar central en la propuesta pedagógica.
- Diseño y redacción tienen que ser considerados de manera conjunta. Diferentes modos de visualizar y graficar una información o un planteo implican diferentes impactos pedagógicos.
- Como todo material pedagógico, el interlocutor (más que lector, algo menos que “el público”) tienen un lugar central. Lenguaje, código, metáforas, juegos, temas, preguntas, propuestas deben estar siempre ligados con la identidad, la cultura y las capacidades de aquellos para quienes está pensado el material.
- Humor e historieta, así como la infografía, son elementos claves que potencian el contenido de una cartilla y permiten interpelar desde la intuición, la síntesis y la construcción abierta de sentido.

- El lenguaje debe ser claro y con mirada del público. Incluso –y sobre todo– si se trata de una cartilla orientada a cuestiones técnicas específicas.
- Tanto en lo escrito como en lo visual (lenguaje gráfico, imágenes, formas, colores) tenemos el desafío de plasmar un lenguaje directo, despojado y dinámico que sea, al mismo tiempo, firme, sólido y consistente.
- Conviene usar cuadros, letreros y destacados para no acabar teniendo textos “planos”. Tiene que ver con un trabajo de jerarquización de textos.
- Es necesario incluir explícitamente elementos, secciones o apartados metodológicos que hagan aportes en relación a cómo trabajar colectiva y pedagógicamente los temas de la cartilla. Desde posibles consignas de trabajo grupal hasta propuestas de esquemas de comprensión y preguntas de profundización.

Con base en lo anterior la cartilla a diseñar tendrá las siguientes características:

- Tamaño: medio oficio
- Orientación: Horizontal
- El *marco teórico* se desarrolla entre textos, ilustraciones, mapas conceptuales, mentales y datos curiosos
- Las *prácticas*, se llevan a cabo entre el marco teórico y los experimentos, consisten en el desarrollo actividades como: crucigramas, sopas de letras, cuestionarios, ejercicios virtuales, entre otros.
- Los *experimentos* se llevan a cabo al finalizar cada tema general y consisten en cuestionar a los estudiantes para que se motiven a buscar las respuestas o a reafirmar sus conocimientos experimentando.
- El *test de diagnóstico* está diseñado para obtener información acerca del conocimiento que tienen los estudiantes del tema.
- La *ilustración final* es un espacio destinado para que los estudiantes a través del medio de expresión que más se les facilite (dibujo, narraciones, etc.), expresen los conocimientos adquiridos al final de cada tema general.
- La *formulación de preguntas* se lleva a cabo antes de los experimentos y es un espacio para que los estudiantes escriban todas las preguntas que surgen en el desarrollo de los temas. En algunos casos se consideraran predicciones.

- Los *apuntes*, son un espacio dedicado para que los estudiantes tomen nota de lo que más les llama la atención.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Se determinó la estructura y contenidos de una prueba diagnóstica, que permitió identificar los conocimientos previos de los estudiantes de grado undécimo, acerca de la forma como se conoce el interior de la Tierra, ver Anexo A.

Se establecieron las características que debe tener una propuesta metodológica para la enseñanza del fenómeno de la refracción como fenómeno experimental para conocer el interior de la Tierra y para identificar los aspectos relevantes en la enseñanza-aprendizaje de las ondas mecánicas.

Se diseñaron varias guías experimentales para los estudiantes de grado undécimo, guías elaboradas con una metodología de aprendizaje activo, que les permitió conocer e interpretar el interior de la Tierra, con base en el método de la refracción de ondas mecánicas.

Se diseñó una estrategia metodológica para la enseñanza - aprendizaje de la refracción de las ondas mecánicas y su aplicación en el conocimiento del interior de la Tierra basada en el modelo por mini proyectos y fue plasmada en una cartilla, ver Anexo B, en ésta se presentan las secuencias para las actividades de mini proyectos y experimentos.

Las actividades presentadas en la cartilla han sido verificadas por los estudiantes de grado decimo y en los experimentos elaborados mostraron gran apropiación de la tecnología usada, además del interés y entusiasmo por aprender sobre lo que sucede con los registros obtenidos mediante el geófono, en un modelo experimental de capas de la Tierra.

## 4.2 RECOMENDACIONES

La metodología diseñada e implementada en un gran porcentaje permitió destacar la importancia de un trabajo por proyectos en las instituciones, donde se aprovechen los conocimientos que poseen los diferentes maestros para una formación integral. En este caso particular considero que sería más significativo el aprendizaje si se involucrara a los profesores de química, sociales, inglés y español.

La cartilla fue diseñada para abordar el tema de la refracción y para ser usada no solamente por los estudiantes del colegio Heladia Mejía sino por los jóvenes de todos los colegios para la enseñanza del tema de la refracción de las ondas aplicadas a una situación específica que por lo general no se relaciona en los currículos de las instituciones.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

Ferreiro, R. (2007). *Estrategias didácticas del aprendizaje cooperativo*. Mexico: Trillas.

Hewitt, P. G. (2007). Física Conceptual. En P. G. HEWITT, *Física Conceptual* (págs. 374-376). Mexico: Pearson.

MEN. (1998). *LINEAMIENTOS CURRICULARES EN CIENCIAS Y EDUCACION AMBIENTAL*. BOGOTA: MEN.

Pellini, C. A. (2013). *Planeta Sedna*. Obtenido de <http://www.portalplanetasedna.com.ar/tierra.htm>

Pérez, R. (1996). *Acerca de Minerva*. México D.F.: Fondo de cultura económica.

Phillips, O. M. (1968). *The Heart of the earth*. San Francisco: Freeman Cooper y Co.

Ruiz, F. J. (1995). Modelos didacticos para la enseñanza de las ciencias naturales. *Actualidad Educativa*, Año 2, No 9 - 10.

Swiecki, R. (30 de 11 de 2014). *Exploración y minería aluvial*. Obtenido de [http://www.minelinks.com/seismic/info\\_es.html](http://www.minelinks.com/seismic/info_es.html)

Tarback, E., & Lutgens, F. K. (2005). *CIENCIAS DE LA TIERRA, Una introduccion a la geologia fisica*. Madrid: Pearson.

VERA, A. (2012). Explorando las ondas: una propuesta didáctica para la enseñanza - aprendizaje de algunos. Bogota.

Villasuso, J. (2003). *Plataforma de Teleformación de la Intranet Educativa Municipal*. Obtenido de

de

<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/historia/Historia.htm>

# Anexo A. Prueba diagnóstica

## INTERIOR DE LA TIERRA - Diagnóstico

<b>Nombre:</b>		<b>curso</b>
<b>Estrato</b>	<b>Sexo</b>	<b>Edad</b>
<b>Profesión Madre</b>		
<b>Profesión Padre</b>		

**Marque la respuesta de acuerdo con las indicaciones dadas.**

### 1. ¿Qué rocas proceden del interior de la tierra?

- a. Ígneas ya que son el resultado de la cristalización de las masas minerales en fusión.
- b. Sedimentarias ya que están formadas por acumulación de materias minerales.
- c. Metamórfica ya que son formadas por transformación de las anteriores por cambios de presión y temperatura.

### 2. ¿Cómo está constituida la tierra?

- a. Gaseosa, líquida y sólida.
- b. Gaseosa, líquida y plasmática.
- c. Sólida, y líquida.
- d. Gaseosa y sólido.



### 3. La capa interna de la tierra se denomina:

- a. **Endósfera:** está constituido por zonas concéntricas de densidad creciente hacia el centro.
- b. **Ionósfera:** está constituida mínimamente por gases, densidad libre de electrones
- c. **Tropósfera:** sus tres cuartas partes se componen de gases, se producen fenómenos atmosféricos.
- d. solo c es la respuesta.

### 4. ¿Por qué suceden los terremotos?

- a. Por movimientos en la corteza y en el interior terrestre.
- b. Por mucha población en ciertos lugares.
- c. Por la deforestación de las montañas.
- d. Ninguna de las anteriores.

### 5. ¿En la actualidad persisten explicaciones religiosas sobre la tierra en cuanto a su formación y sus movimientos?

- a. No: las explicaciones científicas han resultado las más sustentadas en la experiencia indirecta.
- b. Si: La ciencia nunca tendrá toda la razón para dar una explicación total del fenómeno, abrirá el camino a Dios.
- c. Todavía el conocimiento es bastante limitado para dar una respuesta en cualquier sentido.
- d. a y c son la respuesta correcta.

**6. ¿Cuál es la mayor importancia científica de conocer el interior de la tierra?**

- a. Ubicarnos en donde estamos y como está constituida.
- b. Conocer los fenómenos que originados en el interior de la Tierra afectan la superficie.
- c. Para hacer viajes al centro de la tierra sin riesgos y explotar sus materiales.
- d. a y b son correctas.

**7. Lo más aceptado es que en el interior de la tierra, está compuesto por minerales fundidos. Estos minerales están fundidos en orden de densidad.**

- a. Los más pesados en el centro como el hierro, luego los intermedios como el silicio y finalmente los más livianos como el aluminio.
- b. Los más livianos en el centro como el aluminio, luego los intermedios como el silicio y finalmente los más pesados como el hierro.
- c. Los intermedios en el centro como el silicio, luego los más pesados como el hierro y finalmente los más livianos como el aluminio.
- d. Todos los minerales deben tener la misma densidad para que la tierra no sufra desequilibrios en su exterior.

**8. El interior de la tierra tiene mayor temperatura que su exterior, ¿esta afirmación se puede percibir en los fenómenos naturales?**

- a. Las fuentes termales y los volcanes
- b. La coloración de las montañas y la lluvia acida.
- c. La fuente termal y las lluvias acidas
- d. b y c son la respuesta correcta

**9. El núcleo de la Tierra tiene dos capas, ¿cómo es el estado de los materiales que la forman?**

- a. Sólido
- b. Líquido
- c. Gaseoso
- d. Plasmática

**10. Para conocer el interior de la tierra existen métodos directos e indirectos, Los primeros se basan en la observación directa de los materiales y su información es bastante limitada, un método directo es:**

- a. Patafísicos: ya que tiene en cuenta las leyes que rigen las excepciones, aquel universo suplementario al nuestro.
- b. Geológicos: estudia las rocas existentes en la superficie de la tierra, producto de la actividad interna de la tierra.
- c. Magnético: sabiendo que la tierra tiene campo magnético, lo que hace es estudiar las anomalías de ese campo magnético.
- d. Solo c tiene soporte físico.

Indicar cual texto completa correctamente el párrafo:

**11. El valor de  $g$  puede sufrir cambios de un punto a otro en la Tierra (aunque se trata de desviaciones muy pequeñas). \_\_\_\_\_ de los materiales del subsuelo: si las rocas del interior son muy pesadas (por ejemplo, minerales metálicos) el valor de  $g$  será mayor del esperado. Por el contrario, para materiales más livianos, los valores de  $g$  obtenidos serán menores.**

- a. La causa de dichas variaciones se debe a la densidad.

- b. La causa de dichas variaciones se debe al volumen.
- c. La causa de dichas variaciones se debe a la heterogeneidad del terreno.
- d. La causa de dichas variaciones se debe a la masa.

**12. La temperatura en la Tierra va aumentando mientras se va profundizando hasta llegar al centro de la tierra a 6000 °C. El método que estudia este fenómeno es:**

- a. Geomorfológico.
- b. Geotérmico.
- c. Geoestacionario.
- d. Ninguno de los anteriores.

**13. Para la siguiente pregunta marque las afirmaciones que NO corresponden con la información solicitada**

- a. I y II
- b. I,III
- c. II Y III
- d. III Solamente.

**El método sísmico basado en la reflexión, ha resultado bastante útil para conocer el interior de la tierra ya que nos da información sobre la Tierra:**

I. Para identificar los cambios bruscos en las propiedades, o discontinuidades, que separan las capas concéntricas, que de fuera a dentro son: corteza, manto, núcleo externo y núcleo interno.

II. Teniendo en cuenta que las ondas no se propagan en línea recta sino siguiendo trayectorias curvas, esto ha permitido determinar cambios de densidad y fluidez dentro de la estructura del manto.

III. Existen dos tipos de ondas, las P o primarias y las S o secundarias. Las P son ondas longitudinales, mientras que las S son transversales.

**14. Un resultado encontrado sobre el interior de la Tierra, obtenido por métodos indirectos es:**

- a. El interior de la Tierra es mucho más denso que los materiales que forman las rocas superficiales.
- b. Las rocas más abundantes en el exterior de la Tierra están compuestas por silicatos.
- c. El interior de la Tierra está estructurado en capas concéntricas con diferente composición y/o propiedades físicas.
- d. a y c son verdaderas

**15. La variación de la velocidad de una onda al cambiar de medio se denomina**

- a. Reflexión
- b. Refracción.
- c. Interferencia
- d. Conductividad.

**16. La velocidad de las ondas en el interior de la tierra cambian debido a:**

- a. Variedad en la fuente que las produce
- b. Cambio de medios en los que se propaga.
- c. Receptor no está en reposo.
- d. Los registros no son creíbles al no existir instrumentos precisos para su medición.

## Anexo B. Resultados prueba diagnóstica

#	Nombre Alumno	PREGUNTAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16		
1	CAÑAS MEDINA GABRIELA	D	A	NR	C	D	D	D	D	NR	D	B	NR	C	D		
2	CASTAÑO QUINTERO FABIAN C	D	A	A	A	C	D	A	A	A	B	A	C	A	D		
3	COLLANTES PULIDO ANA MARIA	D	A	A	D	D	D	B	A	A	B	D	B	D	D		
4	CORDOBA ARENAS DAGOBERTO	D	A	C	A	D	D	A	A	B	B	C	B	B	A		
5	ENRIQUEZ GONZALEZ OSCAR D.	D	C	C	D	B	D	A	A	B	D	B	A	B	D		
6	FERNANDEZ CABRERA MATEO	D	A	C	A	A	B	A	A	A	B	D	B	C	D		
7	FERNANDEZ CAPERA CAMILO	D	C	C	A	D	D	D	D	A	B	C	A	C	B		
8	GALINDO ROMERO SEBASTIAN	C	D	B	A	D	A	A	A	B	D	A	NR	B	D		
9	GAVIRIA MORA DANIEL MAURICIO	D	C	A	A	B	D	B	D	D	B	D	A	C	D		
10	GIRALDO CAMPOS LAURA V	D	B	C	A	D	A	D	D	D	B	A	B	B	D		
11	GUTIERREZ DIAZ ANDRES FELIPE	D	A	C	A	B	A	A	A	D	B	D	B	B	A		
12	HERNANDEZ ALFARO EDUARDO	D	A	A	A	B	D	A	A	A	B	A	B	A	D		
13	HERRERA MENDEZ MIGUEL ANGEL	D	A	A	D	C	D	A	A	A	C	B	A	C	B		
14	LOPEZ JARAMILLO ANGIE LORENA	D	A	A	A	D	D	D	A	A	B	D	A	D	D		
15	LOPEZ OSORIO JUAN DIEGO	D	A	C	A	C	D	D	D	A	B	A	C	A	D		
16	MARTINEZ PAEZ LISBETH Y.	C	A	B	A	D	A	A	A	A	B	D	A	D	D		
17	MERIZALDE AGUIRRE ALEJANDRA	D	NR	A	A	D	D	D	D	D	B	A	D	A	D		
18	MONTENEGRO POSADA NICOLAS	D	A	C	A	C	B	C	A	A	C	D	B	A	C		
19	MORENO BERMEO JAIME ANDRES	D	A	C	A	D	A	A	D	D	B	A	B	C	D		
20	MORENO CORTES JUAN CARLOS	D	A	A	D	B	D	A	A	D	B	A	A	D	D		
21	MORENO LUENGAS KEVI	D	A	NR	A	D	C	D	A	C	B	A	B	C	D		
22	NAVARRETE ARIAS ANGELA J	D	A	C	A	C	A	A	A	D	C	D	D	D	D		
23	PARRA RIVERA KAREN LORENA	C	A	A	A	C	C	B	A	D	A	B	B	A	A		
24	POLO PIEDRAHITA CRISTHIAN	D	A	A	A	D	D	D	D	B	C	B	C	B	D		
25	PUENTES SUAREZ CRISTIAN DAVID	D	A	A	A	D	D	D	A	B	B	A	B	D	D		
26	QUITIAN MURCIA DANIEL	D	A	D	A	D	D	A	D	A	B	B	B	C	D		
27	RINCON MILLER	D	A	D	A	D	D	D	A	NR	B	C	A	B	D		
28	RIVAS VELASQUEZ DANIEL A.	A	A	A	A	D	B	A	A	A	D	B	D	D	C		
29	RODRIGUEZ SOLER ANDRES DAVID	D	A	A	A	A	D	A	A	B	B	A	B	D	D		
30	SANCHEZ HOYOS CAMILO ANDRES	D	A	B	A	D	D	B	A	B	B	C	B	D	C		
31	SARMIENTO BRANGO LUIS A.	D	A	A	D	C	A	D	A	D	A	D	B	A	D		
32	SUAREZ ORTEGA JOSE DAVID	D	A	A	A	C	D	A	A	D	C	A	B	D	C		
33	TAFUR GONZALEZ NEIDER ALBEIRO	D	A	A	A	C	D	A	A	A	D	A	B	D	A		
34	VARGAS LOZANO JESSICA PAOLA	D	A	B	A	D	D	NR	D	D	B	D	B	B	D		
35	VASQUEZ LEON KATERIN TATIANA	D	C	A	D	NR	NR	D	NR	D	D	A	B	C	D		
36	VEGA GOMEZ JOHAN SEBASTIAN	D	B	D	D	D	D	NR	A	NR	D	A	A	B	B		
37	VIVARES ZULUAGA JAZMIN A.	D	A	A	A	D	D	A	A	A	C	A	C	B	D		

A	1	29	18	29	2	7	18	26	14	2	16	9	7	4
B	0	2	4	0	5	3	4	0	7	22	7	19	10	3
C	3	4	10	1	9	2	1	0	1	6	4	4	9	4
D	33	1	3	7	20	24	12	10	12	7	10	3	11	26
n marcados	0	1	2	0	1	1	2	1	3	0	0	2	0	0

TOTAL	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
PREGUNTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16

# Anexo C. Guía construcción sismógrafo (principio del geófono)

## 1. CONCEPTOS

¿Qué es un geófono?

Instrumento que transforma las ondas sísmicas transmitidas por el subsuelo en impulsos eléctricos susceptibles de ser medidos. Este aparato se emplea como sismógrafo en las prospecciones sísmicas, que en caso de realizarse en el medio marino, es sustituido por otro aparato similar, el hidrófono.

El geófono electromagnético es el más sencillo y el más empleado de los varios tipos de geófonos. Se constituye de una bobina y de un imán. Uno de estos dos elementos está fijado rígidamente con respecto a la superficie terrestre de tal manera, que se moverá junto con la superficie terrestre en respuesta a los movimientos sísmicos. El otro es el elemento inerte y cuelga sujetado por un resorte en un soporte fijo. En la figura 5.1 la bobina está sujetada rígidamente con respecto a la superficie terrestre y el imán, que cuelga sujetado por un resorte en la bóveda, es el elemento inerte. Cualquier movimiento relativo entre la bobina e el imán produce una fuerza electromotriz entre los terminales de la bobina. El voltaje correspondiente a esta fuerza electromotriz es proporcional a la velocidad del movimiento. En la mayoría de los geófonos construidos para la prospección sísmica la bobina presenta el elemento inerte y el imán forma una parte del cajón, que se mueve, si la superficie, en que se ubica el cajón, se mueve. La sensibilidad del geófono depende de la fuerza del imán, de la cantidad de espiras de la bobina y de la configuración del sistema. El tamaño de los geófonos electromagnéticos no sobrepasa la altura de 10 cm.



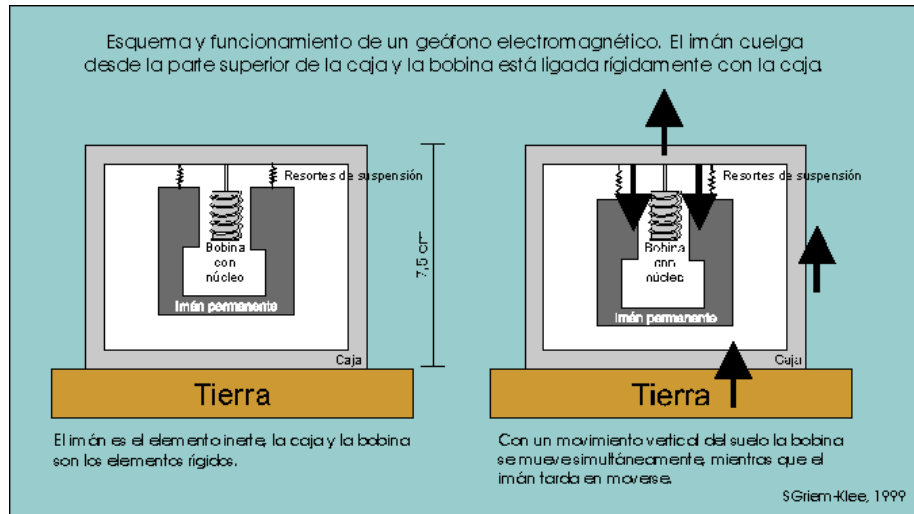


Figura 0.1 Modelo de geófono electromagnético<sup>32</sup>



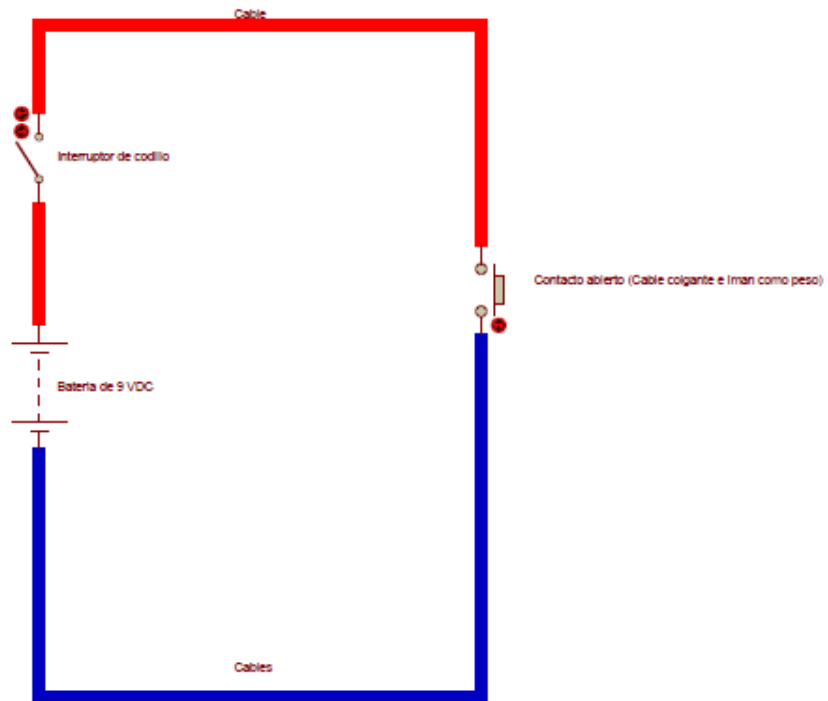
Figura 0.2 Sísmica de refracción con martillo.<sup>33</sup>

## 2. ¿Cómo construir un geófono?

Realice el circuito indicado en la siguiente imagen

<sup>32</sup> Tomado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/geologia/sismica.htm>

<sup>33</sup> Tomado de <http://www.geodatos.cl/sismica.php>



Usando materiales reciclables obtendrá el siguiente geófono



3. Hacerlo funcionar: Cierre el circuito y produzca vibración cerca del geófono.

# BAJO tus PIES

LA REFRACCIÓN  
en el Conocimiento del  
Interior de la Tierra

