

Las ondas sísmicas y el interior de la Tierra

J. Rubén G. Cárdenas

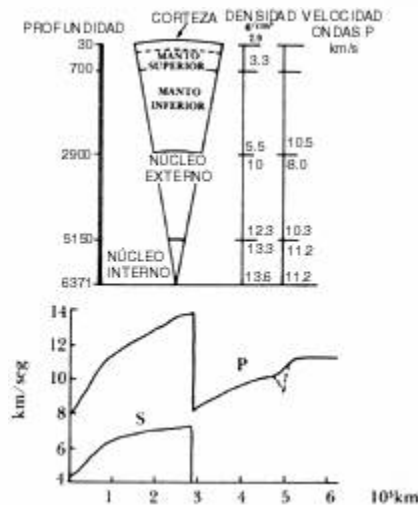
Aun hoy no se sabe exactamente cómo está constituido el interior de la Tierra. Las excavaciones más profundas las han llevado a cabo las compañías mineras en África del Sur para extraer oro a 3.5 km de profundidad pero el calor y la presión impiden que los humanos desciendan mucho más ya que el aumento de la temperatura es en promedio de 1°C por cada 30 m o de 30°C por km. Como se estima que el radio terrestre es de 6,370 km, la información sobre las profundidades que proporcionan las excavaciones es mínima. Isaac Newton fue el primero en proponer una teoría sobre la estructura de la Tierra; basándose en sus estudios sobre la gravedad, calculó el promedio de la densidad de la Tierra y encontró que ésta era de más del doble de la densidad de las rocas cercanas a la superficie. Concluyó por ello que el interior tenía que ser mucho más denso que las rocas de la superficie y se ha comprobado que es así. Esto último también excluía la posibilidad de que hubiera un submundo cavernoso, pero en ese entonces todavía no se conocía dónde comenzaba el material más denso y cómo variaba la composición de las rocas de la superficie.

El conocimiento actual de la estructura interna de la Tierra proviene de datos indirectos proporcionados por la investigación geofísica; el estudio de los terremotos es el que más datos ha aportado. Con cada terremoto se origina un frente de ondas sísmicas que viaja en todas direcciones; estas ondas se propagan de manera semejante a las que se producen al tirar una piedra en el agua. La observación del desplazamiento de las ondas sísmicas a través de la Tierra, ha ayudado a conocer los materiales por los que transitan pues su velocidad de propagación está en función del tipo de material por el que se desplazan.

Los sismos pueden tener diversos orígenes: volcánico, de impacto, por explosiones y aquellos producidos por el roce de las placas de la corteza terrestre. La propagación de la energía resultante se da en forma de ondas elásticas. A través de la Tierra viajan dos tipos de ondas elásticas: las de cuerpo o internas, que pueden ser compresionales (ondas P) y se transmiten tanto en medios sólidos como líquidos; y las de corte o cizalla (ondas S) que son más lentas y sólo se transmiten a

través de medios sólidos. Ambas se registran y se miden con sismógrafos. Las ondas compresionales son las que se transmiten en la dirección del desplazamiento de las partículas del medio, en el que se producen compresiones y dilataciones. Las ondas de corte o cizalla se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación de la deformación en el medio, por lo que están asociadas con deformaciones del terreno de tipo de cizalla.

Con la sofisticada red de estaciones sismográficas de México y el mundo, se han estudiado en detalle las ondas que atraviesan el interior del planeta y se ha podido definir su velocidad, amplitud, reflexiones, refracciones y otras características físicas. Al integrar todos los resultados obtenidos por las estaciones sísmicas se ha deducido una estructura terrestre interna de capas concéntricas discontinuas. Las discontinuidades constituyen los límites de las capas concéntricas, y son zonas donde la velocidad de las ondas aumenta o disminuye abruptamente al pasar de un medio a otro.

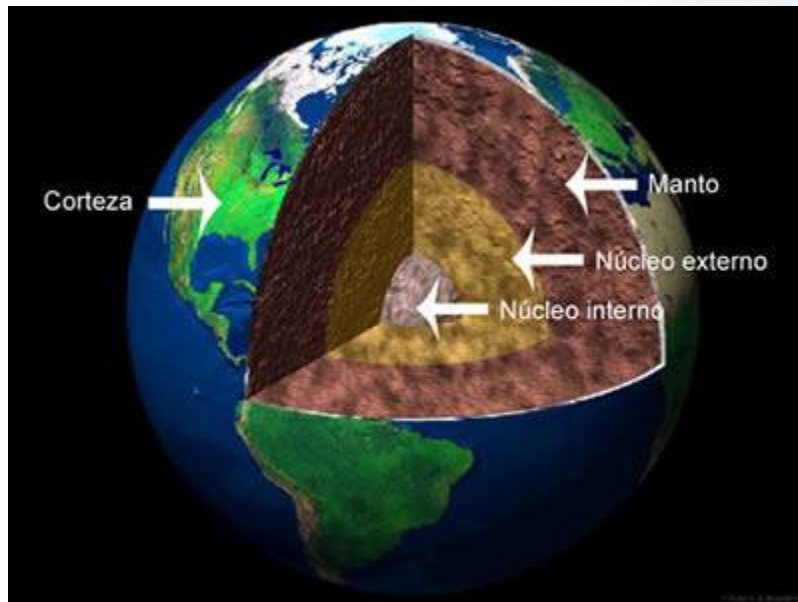


Gráfica de velocidades sísmicas contra profundidad. Imagen tomada de Terremotos de Alejandro Nava

Una de las más importantes observaciones de la estructura de la Tierra fue hecha por el sismólogo croata Andrija Mohorovicic. Él notó que las ondas P medidas a más de 200 km del epicentro de un terremoto, llegaban con más velocidad que las medidas dentro de un radio de 200 km. Esto se debía a que las ondas más veloces viajan a través de un medio que les permite acelerarse. Con base en esto, Mohorovicic definió, en 1909, el principal y primer borde del interior de la Tierra,

Nuestro Planeta

ubicado entre la corteza que forma la superficie y la capa más densa por debajo llamada manto. Las ondas sísmicas viajan más rápido en el manto que en la corteza, porque éste se compone de un material más denso. Por consiguiente, las estaciones más lejanas al origen de un terremoto reciben ondas que han viajado a través de las rocas más densas del manto y por tanto han adquirido mayor velocidad. En 1914 se descubrió el núcleo terrestre y se definió un borde agudo del núcleo y el manto a 2,900 km de profundidad, donde las ondas P se refractan y disminuyen velocidad.

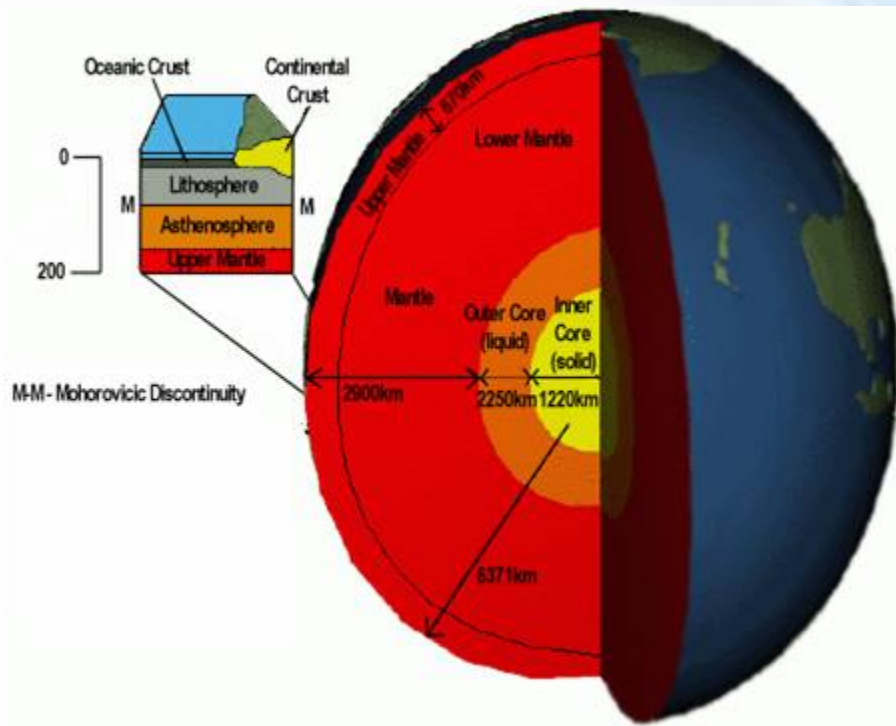


Estructura de la Tierra en términos de densidad. Imagen tomada de Red Nacional Escolar, Ministerio de Ciencia y Cultura, Gobierno de Venezuela en su página de Internet.

Existen estudios más detallados que muestran otras divisiones como el área de baja velocidad ubicada entre los 60 y 250 km de profundidad, que se interpreta como una zona de alta plasticidad de los materiales del manto, y la discontinuidad de Wiechert que se manifiesta a los 5,150 km y parece diferenciar al núcleo en dos partes concéntricas. Sabemos entonces, siempre por métodos indirectos, que la Tierra está formada por diversas capas de distinta densidad y composición. La corteza es la parte más superficial del manto y hasta una profundidad de unos 100 km se denomina litosfera. A los 2,950 km de profundidad se describe la discontinuidad llamada de Gutenberg o fundamental, que separa el manto inferior del núcleo externo. Al pasar del manto al núcleo

Nuestro Planeta

externo, aumenta la densidad (de 5.5 a 10 g/cm³) pero disminuye drásticamente la velocidad de las ondas P (de 10.5 a 8.0 km/s), y las ondas S no se transmiten. Esto indica que el material del núcleo externo es líquido. Tanto la densidad como la velocidad de las ondas P aumentan con la profundidad hasta llegar a los 5,150 km, donde se encuentra la discontinuidad denominada Lehmann entre el núcleo externo y el núcleo interno; este último es sólido y llega hasta el centro de la Tierra situado a 6,371 km de profundidad.



En la imagen superior se muestran el interior de la Tierra y la discontinuidad del Moho, se indican las medidas (en km) de cada capa en términos de su densidad. Tomada de <http://www.geologyrocks.co.uk>

La mayoría de los avances en esta rama de la geofísica ocurridos en los últimos 20 años se deben en buena medida a la instalación de redes instrumentales y de comunicación y al establecimiento de un mayor número de estaciones a escala regional y global. Algunos avances relevantes en la evolución de la sismología están ligados al desarrollo tecnológico mientras que otros resultan de la conjunción de aportes previos; por ejemplo el mejor conocimiento del manto y de la corteza se dio hasta 1960 con el cálculo más detallado y la modelación matemática de la dispersión de ondas superficiales (viajan sobre la superficie de la

Tierra y se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo; o sea, las ondas p y s). En época más reciente muchas contribuciones carecen de apellido; son tantos los investigadores que han contribuido, directa o indirectamente, en el desarrollo de determinado tema que es difícil asignar determinado avance a una sola persona, al igual que precisar el momento específico en el que éste ocurrió. Un ejemplo de ello es la tomografía sísmica, en la que convergen conocimientos previos como el de los tiempos de trayecto, el conocimiento de la estructura de la Tierra, los sismogramas sintéticos y los métodos de inversión.

Los avances tecnológicos que ocurrieron durante el siglo XX no sólo permitieron el incremento en la cantidad y calidad de los datos sísmicos, también propiciaron el desarrollo de métodos de modelado y una interpretación más sofisticada de los resultados con el uso de la computadora. De esta forma fue posible estudiar el interior de la Tierra por medio de modelos inhomogéneos estratificados; es decir, métodos de modelado e inversión que surgieron como un complemento para explicar las señales observadas, la reproducción cuantitativa de las señales sísmicas registradas gracias a los avances del conocimiento sobre el comportamiento de la propagación de la energía. Otra innovación en los años 50, fue la posibilidad de construir diferentes escenarios sobre el origen físico del fenómeno, tomando en cuenta las señales de la fuente y las estructuras geológicas interpretadas o inferidas. Así, los primeros sismogramas sintéticos (así se les denominaron) se usaron para analizar registros sísmicos de reflexión, lo que se convirtió rápidamente en un procedimiento estándar de interpretación. Su popularización en la sismología de terremotos fue muy rápida, ya que permiten obtener más detalles de la estructura mediante una comparación de registros calculados a partir de modelos geológicos.

REFERENCIAS

Gómez-González, Juan Martín; Harald Böhnel, Luis; A. Delgado; Argote, Arturo; Gómez-Tuena, Marco; Guzmán-Speziale, Román; Pérez-Enriquez; Steinich, Birgit,

El conocimiento de la Tierra a través del impacto tecnológico en la sismología , GEOS, 2004, vol. 24, núm. 1, p. 30-39, Centro de Geociencias, UNAM, Campus Juriquilla, Querétaro.

Nava, Alejandro, Terremotos, Fondo de Cultura Económica, México, 1998.