



# TERREMOTOS Y TSUNAMIS O MAREMOTOS

TEXTO DE ENSEÑANZA MEDIA

SERVICIO HIDROGRAFICO Y OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA DE CHILE  
COMISION OCEANOGRAFICA INTERGUBERNAMENTAL  
CENTRO INTERNACIONAL DE INFORMACIONES DE TSUNAMI

*"Declarado MATERIAL DIDACTICO COMPLEMENTARIO Y/O DE CONSULTA DE LA EDUCACIÓN CHILENA, para la enseñanza de la Geografía General y de Chile, a nivel de alumnos de Prebásica, Educación General Básica y Enseñanza Media, respectivamente, de acuerdo a Informe Técnico Pedagógico N° 47, clase "A", de 1994, adjunto a oficio del Jefe de la División de Educación General del Ministerio de Educación, ordinario N° 05/00397 del 23 de marzo de 1994".*

# TERREMOTOS Y TSUNAMIS O MAREMOTOS

## TEXTO DE ENSEÑANZA MEDIA

### ACERCA DEL TEXTO

*Este libro es el resultado de la implementación de la Recomendación ITSU-XIII.3, de la Décimotercera Reunión del Grupo Internacional de Cooperación para el Sistema de Alarma de Tsunami en el Pacífico, y de la labor de varios expertos en educación. Un Grupo de Trabajo ad-hoc, encabezado por H. Gorziglia (Chile), revisó el trabajo hecho por los expertos, parcialmente financiados por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental.*

### AUTORES

*Emilio Lorca Mella \*\*\*, Geólogo  
Margot Recabarren Herrera \*\*, Experto en Educación*

### APOYO EDITORIAL

*Leopoldo Toro Videla \*\*\*, Diseñador  
Humberto Bahamondes\*\*\*, Ilustrador  
Loreto Jiménez Grancelli \*\*\*, Dibujante  
José Freire Vera \*\*\*, Dibujante*

### REVISORES

*Elvira Arriagada Hidalgo \*, Experta en Prevención de Riesgos  
Hugo Gorzigila Antolini \*\*\*, Director*

*(\*) Secretaría Ministerial de Educación, Va. Región, Chile*

*(\*\*) Dirección de Educación de la Armada, Chile*

*(\*\*\*) Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Chile*



## INDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>INTRODUCCION</b> .....                                       | 1  |
| <b>CAPITULO 1</b>   |    |
| <b>LA TIERRA POR FUERA Y POR DENTRO</b> .....                   | 3  |
| <b>OBJETIVOS DEL CAPITULO</b> .....                             | 3  |
| 1.1 <i>Naturaleza de la Tierra</i> .....                        | 4  |
| – <i>Forma y dimensiones</i> .....                              | 4  |
| – <i>Distribución de los océanos y continentes</i> .....        | 5  |
| 1.2 <i>Estructura interna de la Tierra</i> .....                | 8  |
| – <i>Ondas Sísmicas</i> .....                                   | 9  |
| – <i>Capas de la Tierra</i> .....                               | 12 |
| A) <b>REPORTAJES</b>  |    |
| * <i>Los animales predicen los sismos</i> .....                 | 15 |
| * <i>Rasgos extraños en el piso oceánico</i> .....              | 16 |
| B) <b>RESUMEN DEL CAPITULO</b> .....                            |    |
| C) <b>PREGUNTAS / PROBLEMAS</b> .....                           |    |
| D) <b>INVESTIGACION COMPLEMENTARIA</b> .....                    |    |
| E) <b>CUESTIONARIO DEL CAPITULO</b> .....                       |    |
| <b>CAPITULO 2</b>   |    |
| <b>LA CORTEZA TERRESTRE EN MOVIMIENTO</b> .....                 | 23 |
| <b>OBJETIVOS DEL CAPITULO</b> .....                             | 23 |
| 2.1 <i>El rompecabezas de los continentes</i> .....             | 24 |
| – <i>Teoría de los continentes a la deriva</i> .....            | 24 |
| – <i>Evidencia de Wegener sobre la deriva continental</i> ..... | 25 |
| 2.2 <i>Descubrimientos en el océano</i> .....                   | 26 |
| – <i>Fosas y cordilleras meso-oceánicas</i> .....               | 26 |
| – <i>Desplazamiento del piso oceánico</i> .....                 | 28 |
| 2.3 <i>Tectónica de placas: Una nueva teoría</i> .....          | 29 |
| – <i>La teoría de tectónica de placas</i> .....                 | 29 |
| – <i>Fronteras de las placas</i> .....                          | 30 |
| 2.4 <i>Fuerzas tan grandes como para mover las placas</i> ..... | 32 |
| – <i>Una posibilidad: Corrientes de convección</i> .....        | 32 |
| – <i>Plumas en el manto</i> .....                               | 33 |
| – <i>Investigando los puntos calientes</i> .....                | 33 |
| A) <b>REPORTAJE</b>   |    |

|  |           |
|--|-----------|
| * Para lubricar la Tierra . . . . .                            | 35        |
| B) RESUMEN DEL CAPITULO . . . . .                              | 36        |
| C) PREGUNTAS / PROBLEMAS . . . . .                             | 36        |
| D) CUESTIONARIO DEL CAPITULO . . . . .                         | 38        |
| <b>CAPITULO 3</b>  |           |
| <b>LA SISMICIDAD DE LA TIERRA Y LOS VOLCANES . . . . .</b>     | <b>41</b> |
| OBJETIVOS DEL CAPITULO . . . . .                               | 41        |
| 3.1 Sismos . . . . .   | 42        |
| – Sismos y fallas . . . . .                                    | 42        |
| – Tamaño de un sismo . . . . .                                 | 45        |
| – Terremotos y réplicas . . . . .                              | 49        |
| – Utilizando sismógrafos para encontrar el epicentro . . . . . | 50        |
| – Alerta - Hay un terremoto por delante . . . . .              | 51        |
| ACTIVIDAD: Localizando un sismo . . . . .                      | 52        |
| 3.2 El magma y la lava . . . . .                               | 54        |
| – Magma dentro de la Tierra . . . . .                          | 54        |
| – Lava sobre la superficie de la Tierra . . . . .              | 55        |
| – Lava en las fronteras de las placas . . . . .                | 55        |
| – La actividad volcánica . . . . .                             | 56        |
| – El cono volcánico . . . . .                                  | 57        |
| ACTIVIDAD: Sismos y volcanes . . . . .                         | 59        |
| A) REPORTAJE   |           |
| * Las erupciones y sus productos . . . . .                     | 61        |
| B) RESUMEN DEL CAPITULO . . . . .                              | 62        |
| C) PREGUNTAS / PROBLEMAS . . . . .                             | 63        |
| D) CUESTIONARIO DEL CAPITULO . . . . .                         | 64        |
| <b>CAPITULO 4</b>  |           |
| <b>TSUNAMIS O MAREMOTOS . . . . .</b>                          | <b>67</b> |
| OBJETIVOS DEL CAPITULO . . . . .                               | 67        |
| 4.1 ¿Qué es un tsunami? . . . . .                              | 68        |
| 4.2 Generación de un tsunami . . . . .                         | 70        |
| – Tsunami generado por un volcán . . . . .                     | 70        |
| – Tsunami generado por un derrumbe . . . . .                   | 71        |
| – Tsunami generado por un terremoto . . . . .                  | 72        |
| 4.3 Mecanismos de generación de un tsunami . . . . .           | 73        |
| 4.4 Propagación de un tsunami . . . . .                        | 74        |

|   |     |
|---|-----|
| – Refracción de ondas .....                                   | 74  |
| – Difracción de ondas en el agua .....                        | 75  |
| – Tsunamis generados a gran distancia .....                   | 76  |
| – Tsunamis locales .....                                      | 78  |
| 4.5 Efectos costeros .....                                    | 78  |
| – Altura de las ondas .....                                   | 78  |
| – Ascenso de un tsunami (runup) sobre la costa .....          | 78  |
| – Impacto de un tsunami .....                                 | 79  |
| 4.6 Protección contra los tsunamis .....                      | 79  |
| 4.7 El Sistema de Alarma de Tsunami .....                     | 80  |
| – Objetivo .....  | 80  |
| – Descripción .....   | 80  |
| – Procedimientos operacionales .....                          | 81  |
| A) REPORTAJES .....   |     |
| * Dos tsunamis del pasado .....                               | 83  |
| * Cabalgando un tsunami .....                                 | 83  |
| B) RESUMEN DEL CAPITULO .....                                 | 86  |
| C) PREGUNTAS / PROB LEMAS .....                               | 86  |
| D) CUESTIONARIO DEL CAPITULO .....                            | 86  |
| <b>CAPITULO 5</b>   |     |
| <b>SISMICIDAD DEL PAIS</b> .....                              | 89  |
| <b>OBJETIVOS DEL CAPITULO</b> .....                           | 89  |
| 5.1 Características generales de la sismicidad en Chile ..... | 90  |
| 5.2 Regionalización sísmica .....                             | 91  |
| 5.2.1 Zona norte de Chile .....                               | 91  |
| * Historia sísmica de la zona norte de Chile .....            | 92  |
| 5.2.2 Zona centro-norte de Chile .....                        | 93  |
| * Historia sísmica de la zona centro-norte de Chile .....     | 93  |
| 5.2.3 Zona de Chile central .....                             | 94  |
| * Historia sísmica de la zona central de Chile .....          | 95  |
| 5.2.4 Zona centro-sur de Chile .....                          | 96  |
| * Historia sísmica de la zona centro-sur de Chile .....       | 96  |
| 5.2.5 Zona de Chile austral .....                             | 97  |
| * Historia sísmica de la zona de Chile austral .....          | 98  |
| A) REPORTAJE .....  |     |
| * Reportaje al pasado .....                                   | 98  |
| B) RESUMEN DEL CAPITULO .....                                 | 99  |
| C) PREGUNTAS / PROBLEMAS .....                                | 100 |
| D) CUESTIONARIO DEL CAPITULO .....                            | 100 |

## CAPITULO 6

|  |     |
|--|-----|
| <b>MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA TERREMOTOS Y TSUNAMIS</b> .....                | 103 |
| <b>OBJETIVOS DEL CAPITULO</b> .....  | 103 |
| 6.1 Qué hacer antes de un terremoto .....                                      | 104 |
| 6.1.1 Peligros más probables que ocurran .....                                 | 104 |
| 6.1.2 Acciones a tomar para minimizar el riesgo .....                          | 104 |
| 6.1.3 Guía para personas responsables de otros grupos de personas .....        | 106 |
| 6.2 Qué hacer durante el sismo .....   | 107 |
| 6.2.1 Acciones a tomar para minimizar riesgos .....                            | 107 |
| 6.2.2 Información general para disminuir el peligro en caso de terremoto ..... | 109 |
| 6.2.3 Acciones a tomar si estás en el Colegio .....                            | 110 |
| 6.2.4 Si estás manejando .....   | 110 |
| 6.3 Qué hacer después del sismo - mantén la calma .....                        | 111 |
| 6.4 Qué hacer en caso de tsunami .....   | 112 |
| 6.4.1 Recomendaciones de seguridad .....                                       | 112 |
| A) REPORTAJE   |     |
| * TERREMOTO - ¿preludio al grande? .....                                       | 114 |
| B) RESUMEN DEL CAPITULO .....  | 116 |
| C) PREGUNTAS / PROBLEMAS .....   | 116 |
| D) CUESTIONARIO DEL CAPITULO .....   | 117 |
| GLOSARIO .....   | 118 |
| SIGLAS UTILIZADAS .....  | 119 |

## TERREMOTOS Y TSUNAMIS O MAREMOTOS

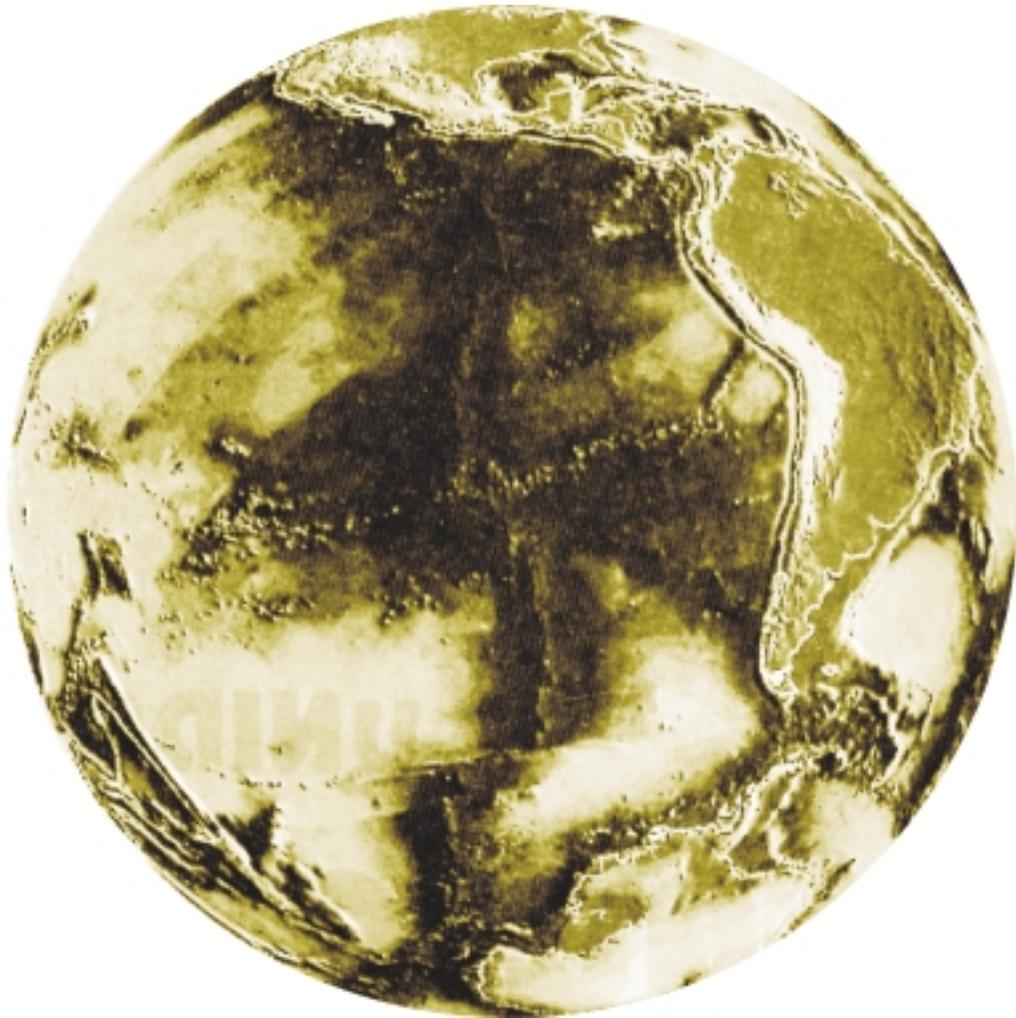
### INTRODUCCION

Existen muchos fenómenos naturales que producen efectos beneficiosos al hombre, como las lluvias para la agricultura, o las corrientes marinas frías que proporcionan abundante pesca para la alimentación, pero existen otros fenómenos cuyos efectos pueden ser muy perjudiciales como los terremotos y los tsunamis o maremotos.

El impacto de los fenómenos naturales en la población de todo el mundo se ha vuelto cada vez más importante, debido al notable crecimiento de la población mundial, que ha alcanzado hace no mucho la asombrosa cifra de 5.000 mil millones de habitantes. Gran cantidad de esta población se ha concentrado en grandes ciudades cuyas poblaciones sobrepasan en muchos casos los 5 millones de habitantes (Tokyo, Japón, Lima, Perú), haciendo a la población más vulnerable a estos fenómenos.

Los sismos y terremotos son tan inevitables como el clima. Incluso Marte y la Luna los tienen. Aquí en la Tierra, los sismólogos informan que cada año ocurren un par de millones de ellos, lo suficientemente fuertes como para ser sentidos; alrededor de mil de ellos, pueden echar abajo las chimeneas y una docena de ellos, pueden convertirse en potenciales desastres.

Una de las consecuencias que mayor impacto producen, son las generadas por aquellos terremotos de gran magnitud que ocurren en el mar. Como resultado, se generan ondas sobre la superficie del agua que se desplazan a gran velocidad a través de los océanos, provocando gran cantidad de daños y víctimas no sólo en su lugar de origen, sino que también sobre costas ubicadas a muchos miles de kilómetros.



## CAPITULO 1

### LA TIERRA POR FUERA Y POR DENTRO

La fotografía muestra nuestra Tierra tal como la vieron los astronautas que estuvieron sobre la Luna. Ellos notaron lo amigable, aunque solitaria que ella parecía. Esta vista, más una serie de mediciones tomadas sobre la Tierra, han mejorado el entendimiento de nuestro planeta.

Este capítulo tiene mucha "estadística vital de la Tierra. La primera parte discute su forma y lo que hay en su superficie, señalando la distribución de masas continentales y oceánicas. El capítulo termina describiendo la estructura interna de la Tierra y la formación de diferentes tipos de ondas sísmicas que se propagan en ella.

#### OBJETIVOS DEL CAPITULO

1. Describir e identificar la forma y medidas de la Tierra.
2. Describir y ubicar la distribución de mares y continentes.
3. Describir los rasgos topográficos generales del fondo del mar.
4. Describir la generación y propagación de las ondas sísmicas, señalando su clasificación.
5. Listar, comparar y describir las capas del interior de la Tierra.

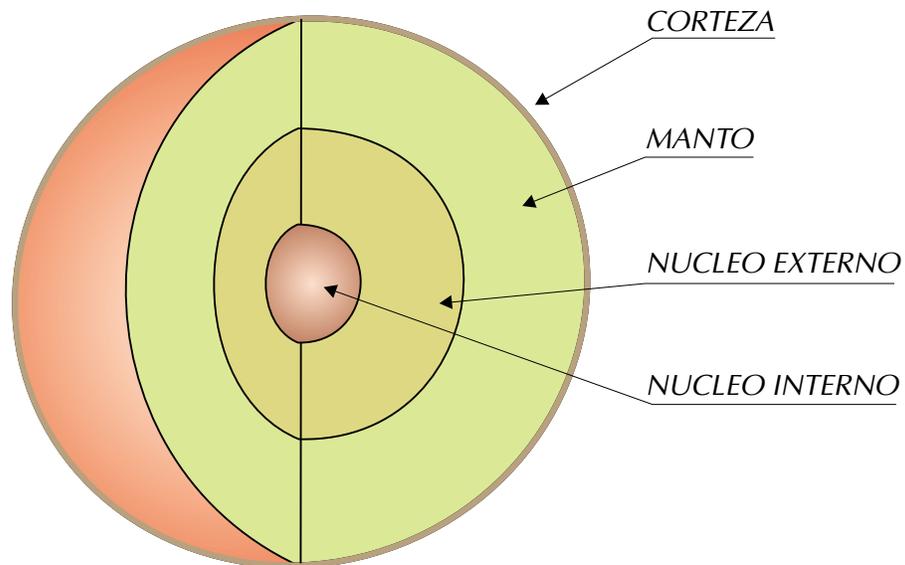
## 1.1 NATURALEZA DE LA TIERRA

### • FORMA Y DIMENSIONES

Para comprender mejor los fenómenos naturales a los que está expuesto el hombre, es necesario conocer algunos conceptos generales sobre la forma, dimensión y estructura interna del planeta en que vivimos: la Tierra.

Como todos sabemos, la Tierra es tan sólo uno de los millones de cuerpos que existen en el Universo. Sin embargo, no es un planeta cualquiera, sino uno de los pocos, o quizás el único, que tiene las condiciones naturales que permiten la existencia de formas de vida vegetal, animal y por consiguiente del hombre. Esto se debe, principalmente, a que las temperaturas que ocurren en la Tierra permiten la existencia del agua en estado líquido, elemento esencial para la vida. Otros planetas tienen temperaturas muy elevadas o muy bajas, que no permiten la presencia del agua en estado líquido y, por tanto, no favorecen el desarrollo de ninguna forma de vida.

La Tierra tiene una forma cercana a una esfera achatada en los polos, con un radio en el ecuador de 6.378 kilómetros, mientras que el radio terrestre en los polos es de 6.356 kilómetros. Su circunferencia es de alrededor de 40.000 kilómetros.

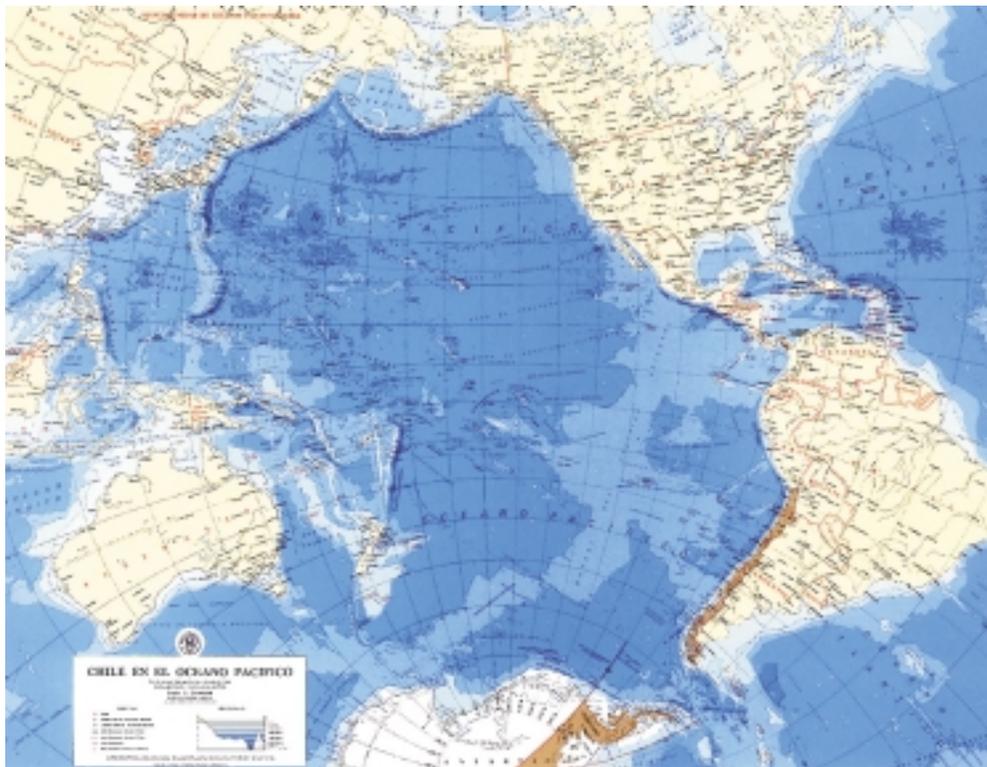


*Corte esquemático de las capas de la tierra.*

El aplastamiento de la forma de la Tierra resulta de las fuerzas centrífugas provocadas por su rotación. Las fuerzas resultantes de la rotación tienen otros efectos, incluyendo el patrón global de vientos en la atmósfera, la dirección de las corrientes en los océanos, y el flujo de material viscoso caliente en su interior.

- **DISTRIBUCION DE LOS OCEANOS Y CONTINENTES**

Uno de los aspectos más relevantes de su superficie es la gran extensión de los océanos. Más del 70 % de la superficie de nuestro planeta está recubierta por el agua de los océanos y en el Hemisferio Sur ellos ocupan casi el 85 % de la superficie de esa mitad del planeta, tal como se muestra en la figura.



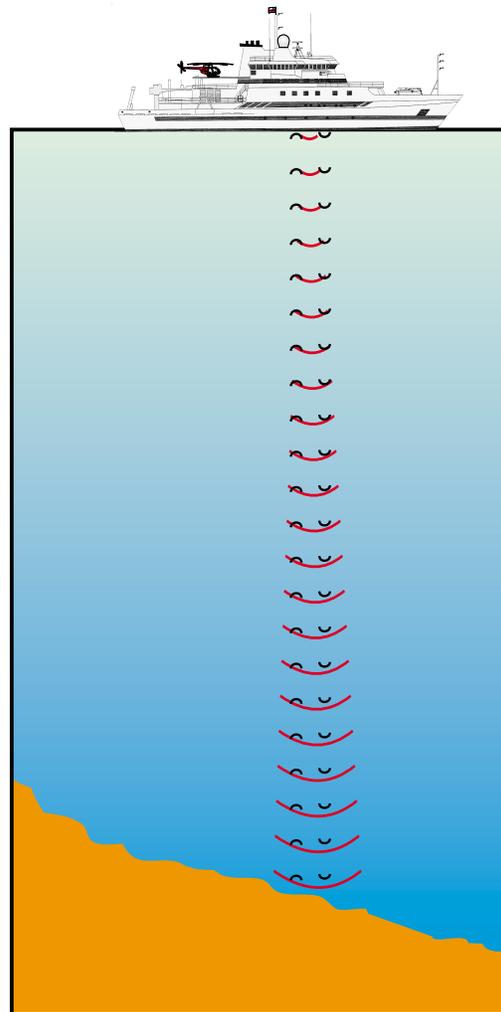
*Distribución de océanos y continentes.*

El Océano Pacífico es el más extenso de la Tierra, ocupa más de un tercio de la superficie total del planeta, cuyas grandes corrientes marinas regulan gran parte del clima mundial. Es también el océano más profundo, con una profundidad media que sobrepasa en 200 metros el promedio mundial, que es de alrededor de 3.700 metros. En este océano, por su dimensión y debido a la estructura geológica de su fondo marino, es donde se originan la gran mayoría de los terremotos y tsunamis o maremotos que ocurren en el mundo.

## ¿SABES COMO SE MIDEN LAS PROFUNDIDADES MARINAS?

En el pasado, los marinos medían las profundidades mediante cuerdas en cuyo extremo hay un peso, que bajaban hasta que el peso tocaba el fondo. El largo de la cuerda mojada mostraba la profundidad del agua. En aguas profundas este método es inexacto debido al movimiento del agua.

En la actualidad, los científicos determinan la profundidad del agua usando un ecosonda. Este aparato mide la profundidad haciendo rebotar ondas de sonido sobre el piso oceánico. El ecosonda mide el tiempo que se demora la onda en alcanzar el fondo y retornar al buque. Como la velocidad del sonido en el agua es conocida, el encargado del sondeo puede calcular la profundidad del mar en ese punto.



### ¿HAS ESCUCHADO QUE...?

El Océano Pacífico es tan grande que si todos los continentes fueran puestos juntos, cabrían en él. Cubre una superficie de 165.200.000 kilómetros cuadrados.

El Océano Pacífico está rodeado principalmente por cadenas montañosas lineales, por profundas fosas marinas y por sistemas de arcos de islas, que en la mayor parte de las áreas aíslan efectivamente las profundas cuencas oceánicas de la influencia de la sedimentación continental.

Si removiéramos toda el agua de los océanos, se revelaría un patrón de rasgos topográficos dominado por la presencia de un sistema de cadenas montañosas y cordilleras que rodea todo el globo, más la presencia de profundas cuencas ubicadas entre las cordilleras oceánicas y los continentes. El patrón topográfico muestra que las partes más profundas de los océanos no se presentan en el medio de ellos, como uno podría esperar, sino que ocurren cerca de tierra firme.



*Topografía de los fondos oceánicos.*

### **¿HAS ESCUCHADO QUE ...?**

La mayor profundidad de todos los océanos es la Profundidad de Challenger. Está en la Fosa de las Marianas en el Océano Pacífico Occidental. Tiene más de 11.000 metros de profundidad.

El centro de los océanos es menos profundo debido a la presencia de las cordilleras oceánicas. Esto es similar al patrón topográfico de las mayores cadenas montañosas continentales, las cuales, con excepción de los Himalayas y algunas otras pocas cordilleras, no están localizadas hacia el centro de las masas continentales, sino que cerca de los bordes que enfrentan profundas fosas oceánicas. De esta forma, tanto las áreas continentales como las oceánicas muestran los mayores desniveles verticales en estrechas zonas de la corteza terrestre.

## 1.2 ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

Todos sabemos cómo es la Tierra externamente, ya que lo vemos con frecuencia en mapas, fotografías y en los paisajes que nos rodean; pero, ¿cómo es la Tierra por dentro?

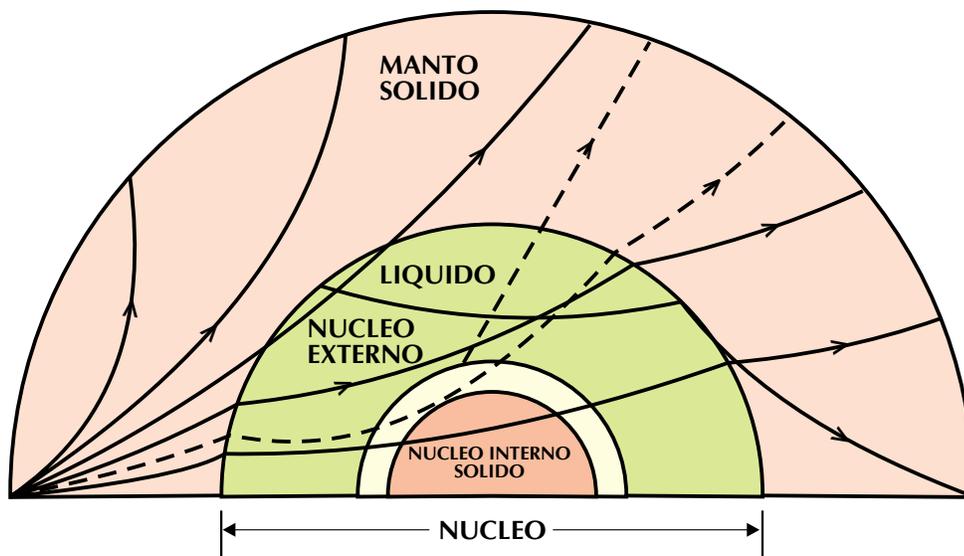
Nadie ha podido viajar hasta el centro de nuestro planeta para descubrir su estructura interna, es decir, el material del que está formada. Sin embargo, hoy en día se conoce su estructura interna gracias a mediciones efectuadas con instrumentos que registran las ondas producidas por movimientos sísmicos.

Cada año, diez o más terremotos importantes sacuden a nuestro planeta. El más pequeño de éstos libera una energía casi mil veces superior a la de una bomba atómica. Las ondas producidas por estas convulsiones viajan a través del interior de la Tierra, y su curso se arquea y modifica por las diferentes capas de la estructura interna de la Tierra. De esta forma, las ondas sísmicas ponen de manifiesto la naturaleza de las zonas que atraviesan y, al estudiarlas, después de ser registradas en los sismógrafos, podemos deducir la imagen del interior. En efecto, los sismólogos radiografían la Tierra, aunque a veces la ven como a través de un vidrio ahumado.

Hasta la aparición de la Sismología, nuestro conocimiento sobre el interior de la Tierra se basaba en hipótesis y especulaciones; gracias a esta ciencia, hoy en día se conoce la estructura del planeta con rigor científico. Combinada con la información geológica que suministran las rocas superficiales, los experimentos de laboratorio con rocas a alta presión y ciertas observaciones astronómicas, nos proporcionan una idea de las condiciones que reinan al interior de ella, su estructura en capas, los materiales que la conforman, su estado físico, la presión, etc.

### • ONDAS SISMICAS

Cuando se arroja una piedra a un pozo de agua, se observan ondas que divergen del punto donde cayó la piedra, pero éstas también se transmiten en profundidad divergiendo desde el mismo punto. Un fenómeno comparable a éste es el que ocurre en la Tierra al producirse un sismo, es decir, desde el foco o lugar de ruptura del equilibrio elástico se transmiten ondas en todas direcciones en el interior y superficie de la Tierra, tal como se ve en la figura.



*Propagación de ondas sísmicas en el interior de la Tierra.*

#### **¿SABIAS QUE..?**

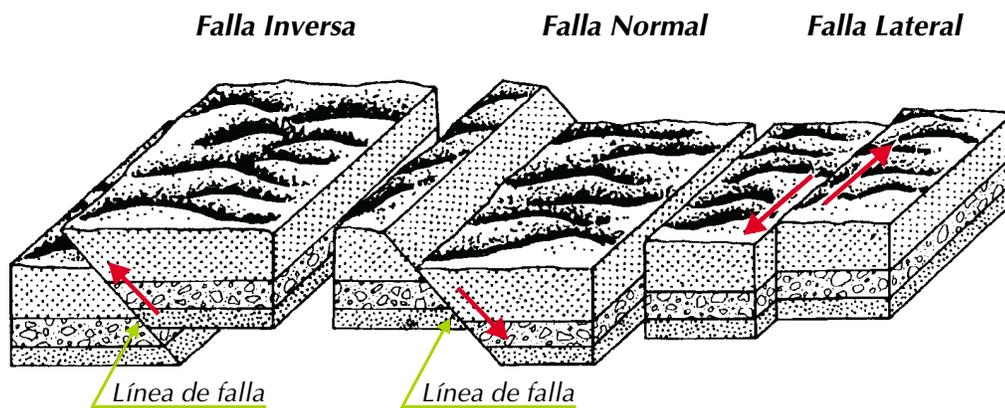
... el récord de perforación en profundidad en la exploración de la corteza terrestre lo ostenta la ex Unión Soviética, con un pozo de 12 kilómetros de profundidad, practicado en MURSMANK.

#### **¿SABIAS ADEMAS QUE..?**

...a catorce kilómetros de la superficie, la roca está sometida a 4.000 atmósferas de presión y trescientos grados Celsius de temperatura.

Para la mayoría de los sismos superficiales (0 a 70 km de profundidad), el mecanismo de generación de ondas elásticas es una fractura o ruptura del material en la región. En otras palabras, los esfuerzos superan el límite de ruptura del material en esa región, por lo tanto, se fractura, produciéndose lo que se denomina comúnmente como "falla" y esta "falla" es la que genera las ondas sísmicas.

Una "falla" se puede definir como el movimiento relativo entre bloques de la corteza, y esquemáticamente se pueden observar varios tipos en la siguiente figura.



Una vez que se ha sobrepasado el punto de ruptura del material en una región (es decir, se ha producido una falla), se generan fundamentalmente tres tipos de ondas sísmicas:

- 1) **Onda P**, que corresponde a la onda primaria o longitudinal. Se caracteriza porque el movimiento de las partículas en el medio tiene la misma dirección que la propagación de la onda. La onda P, como las ondas sonoras, son capaces de transmitirse en rocas y, además, por medios líquidos. Debido a su naturaleza, parecida a la de las ondas sonoras, es posible escuchar parte de ellas cuando la frecuencia que poseen está contenida en el rango audible (superior a aproximadamente 15 ciclos por segundo).
- 2) **Onda S**, u onda secundaria. Deriva su nombre de su menor velocidad de propagación en referencia a la onda P. El tipo de movimiento de las partículas es exactamente, perpendicular a la dirección de propagación de la onda

(comúnmente también se denomina onda de cizalle). Debido a su naturaleza de propagación, estas ondas no son capaces de transmitirse en medios fluidos, tales como medios líquidos o gaseosos, de tal modo que se encontrarán sólo en medios sólidos.

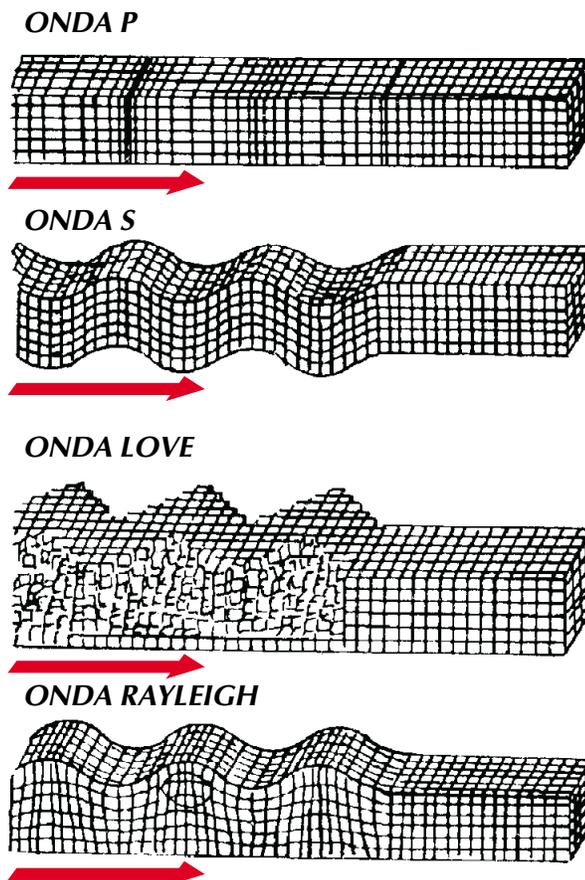
La velocidad de las ondas P y S depende de las propiedades de la roca y suelo por la que ellas atraviesan. Velocidades típicas para la onda P en una roca llamada granito y en el agua son  $5,5 \text{ km/seg}$  y  $1,5 \text{ km/seg}$ , respectivamente; mientras que la velocidad de la onda S en los mismos medios sería del orden de  $3,0 \text{ km/seg}$  y  $0 \text{ km/seg}$ , este último valor debido a que los medios líquidos no tienen rigidez.

3) Un tercer tipo de onda es denominada onda superficial, porque su propagación y movimiento está restringido a las cercanías de, la superficie de, la Tierra. Tal como las olas que atraviesan un lago, la mayor parte del movimiento de la onda está situado en la superficie.

Las ondas superficiales pueden ser divididas en ondas Love y ondas Rayleigh. El movimiento de la onda Love es esencialmente el mismo que, la onda S, que no tiene componente vertical, ella mueve el suelo de un lado a otro en un plano horizontal paralelo a la superficie de la Tierra. El movimiento en una onda Rayleigh está confinado en el plano vertical que contiene la dirección de la propagación de las ondas.

La velocidad de las ondas superficiales es menor que la velocidad de las ondas P y S y las ondas Love, generalmente, poseen mayor rapidez que las ondas Rayleigh.

Las figuras que se presentan en esta página grafican la propagación de estos cuatro tipos distintos de ondas sísmicas.



*Movimiento y propagación de ondas sísmicas.*

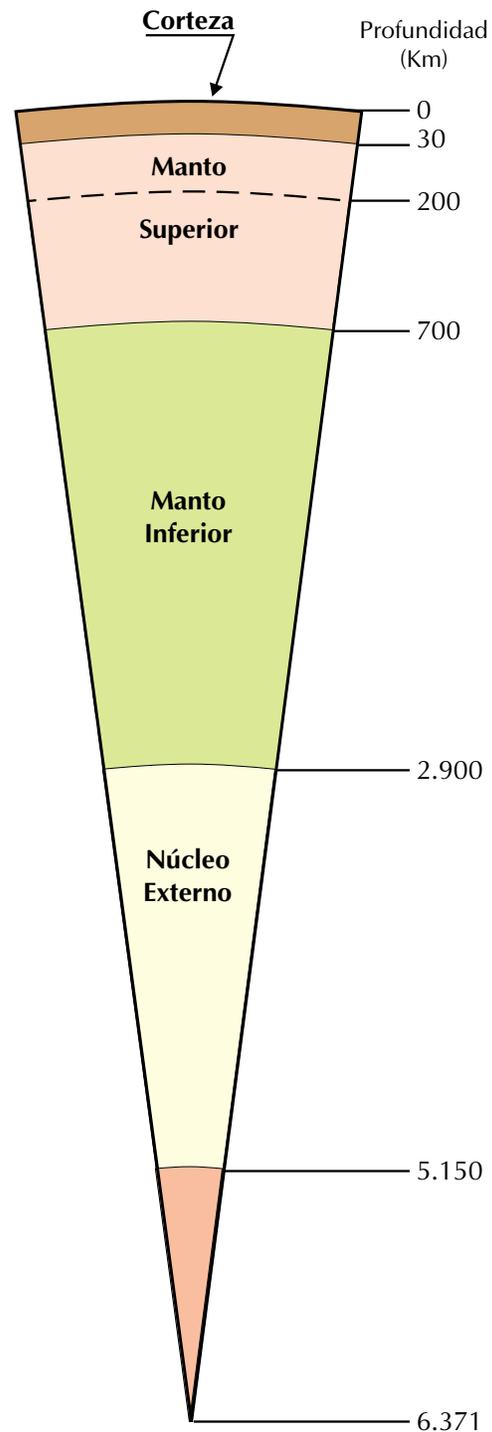
### • CAPAS DE LA TIERRA

Con esta clase de pruebas, Oldham demostró, en 1906, que la Tierra tenía un núcleo central, y en 1914, Beno Gutenberg localizó el límite del núcleo a 2.896 Km bajo la superficie terrestre. Teniendo en cuenta que el radio terrestre es de unos 6.370 Km, el radio del núcleo es aproximadamente de 3.474 Km.

Gracias a éste y otros estudios, se ha podido comprobar que la Tierra está dividida en cuatro capas diferentes, tal como se muestra en la figura.

a) La Corteza. Esta capa es aquella expuesta a la intemperie, en la que nosotros vivimos, formada por material de roca sólida. Su espesor varía entre 5 y 60 Km. Como promedio normal para toda la Tierra, se estima que la corteza posee un espesor de 33 Km. Aunque este espesor parezca grande, es tan sólo el equivalente al grosor comparable de la cáscara de un huevo. La distribución de las velocidades de ondas sísmicas en ella, es de 6,0 a 6,5 Km/seg para la onda P y de 3,5 a 3,7 Km/seg para la onda S.

b) El Manto. Esta capa se extiende desde la base de la corteza hasta los 2.900 Km de profundidad; la separación entre la corteza y el manto se conoce con el nombre de discontinuidad de Mohorovicic (abreviadamente conocida como Moho). Se divide el manto en dos regiones: el manto superior, desde la base de la corteza hasta los 700 Km de profundidad, y el manto inferior desde esta profundidad hasta la superficie del núcleo. Los primeros 200 Km del manto



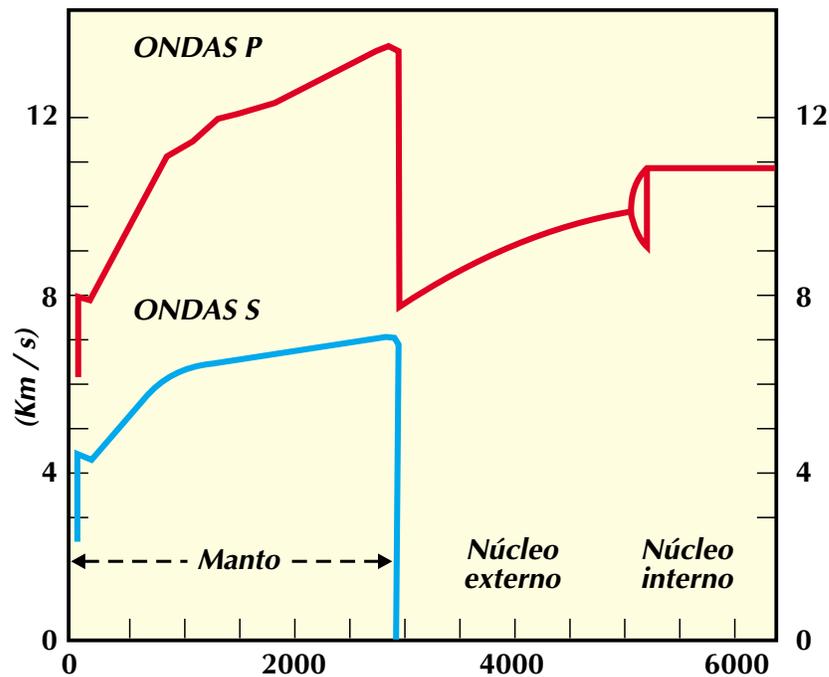
*Estructura interna de la Tierra.*

superior constituyen una región de aumento gradual de velocidad, seguida posiblemente de una disminución de la velocidad de la onda S. La parte inferior del manto superior, entre 300 y 700 Km de profundidad está caracterizada por un aumento rápido de la velocidad de las ondas sísmicas. En el manto inferior, la velocidad de las ondas P y S aumenta más lentamente con la profundidad.

c) El Núcleo Externo, ubicado entre los 2.880 y los 5.000 km de profundidad, se comporta con características de líquido, es decir, por él no se propagan las ondas transversales (S).

d) El Núcleo Interno, de un radio de 1.200 Km, está considerado como sólido y en él la velocidad de las ondas sísmicas aumenta, pudiendo propagarse a través de él tanto las ondas P como las ondas S.

La figura siguiente muestra la distribución de las velocidades de las ondas sísmicas por el interior de, la Tierra.



Velocidad de ondas sísmicas a diferentes profundidades.

### ¿SABIA UD. QUE ... ?

... la presión en el límite del núcleo externo y el núcleo interno alcanza a 3,3 millones de atmósferas y equivale a la que ejercería una montaña de 3.300 automóviles de tamaño medio, colocada sobre la superficie de, una uña pulgar.

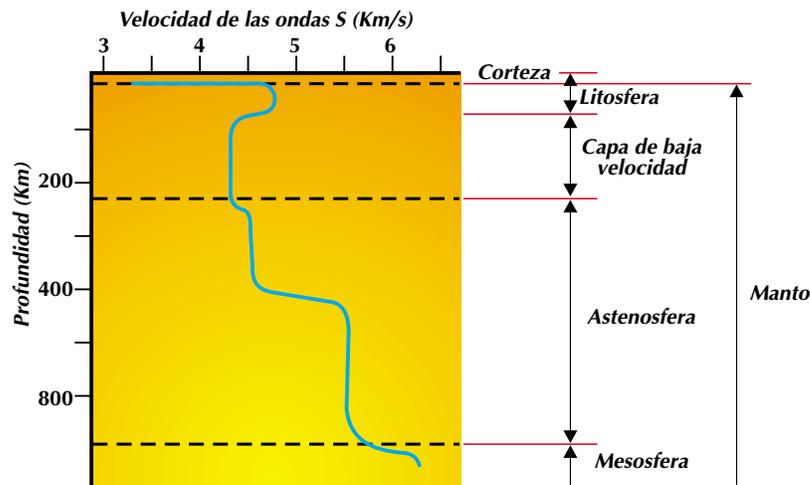
Ya se dijo que la corteza, el manto y el núcleo se diferencian por sus diferentes velocidades sísmicas. Otro conjunto de términos que definen las capas concéntricas de la Tierra está basado en la solidez y viscosidad de las diferentes zonas. Ellas son la **litosfera**, la **astenosfera** y la **mesosfera**.

La litosfera es la cáscara más externa de la Tierra (de alrededor de 100 kilómetros de espesor) e incluye la corteza y el manto superior. Se distingue por su capacidad de soportar grandes cargas superficiales, como los volcanes, sin ceder. Es fría y por lo tanto rígida. Bajo ella se encuentra (hasta una profundidad de 700 kilómetros) la astenosfera (asthenos en griego significa suave).

La astenosfera, se encuentra cercana a su temperatura de fusión y debido a que tiene poca solidez, fluye, cuando se le aplica una fuerza durante un cierto tiempo.

La siguiente capa es la mesosfera, que es más rígida que la astenosfera, pero más viscosa que la litosfera. La mesosfera se extiende, hasta el núcleo, y de esta forma constituye la mayor parte del manto.

Estas capas concéntricas y su relación con las definidas previamente, se muestran en la siguiente figura.



*Estructura interna de la Tierra de acuerdo a velocidad de las ondas S.*

El manto es en su mayor parte sólido. Las ondas sísmicas son transmitidas a velocidades que aumentan con la profundidad a medida que la densidad aumenta desde 3,3 a 5,5 gr/cm cúbico. Este aumento de la densidad se produce progresivamente en pasos discretos. El manto es complejo y exhibe variaciones en su estructura tanto horizontal como verticalmente. La variación vertical más importante dentro del manto superior es la disminución de la velocidad de las ondas S de 4,7 a 4,3 km/seg, entre los 75 y los 150 kilómetros de profundidad. Esta capa de baja velocidad probablemente representa una zona de fusión parcial en el manto superior, constituyéndose en el origen de la mezcla fundida llamada magma, que asciende a la superficie y forma las rocas ígneas y las rocas volcánicas.

## A) REPORTAJES

### • *LOS ANIMALES PREDICEN LOS SISMOS*

(Extractado de "Earth Science")

Una agencia gubernamental en China ha informado que se han observado comportamientos extraños en animales algunas horas antes de un terremoto. El ganado vacuno, las ovejas, mulas y caballos no entraban a los corrales. Las ratas huían de sus hogares. Culebras invernando abandonaban sus madrigueras. Las palomas volaban continuamente y no retornaban a sus nidos. Los conejos alzaban sus orejas, saltando en todas direcciones y chocando con las cosas. Los peces saltaban por sobre la superficie del agua.

China no fue el único país en informar tan desacostumbrado comportamiento animal. El 6 de mayo de 1976, un terremoto sacudió un pueblo en Italia. Antes del sismo, los pájaros caseros agitaban sus alas y chillaban. Los ratones y ratas corrían en círculos. Los perros ladraban y aullaban. Quizás los animales sintieron el sismo que se encaminaba.

Por muchos años, los granjeros a través de todo el mundo han contado historias acerca de cambios en el comportamiento de los animales, justo antes de, un terremoto. Los científicos chinos estaban entre los primeros en creer que estas historias pudieran tener una base científica. Se les ha propuesto que los animales del zoológico podrían alertar a la gente sobre un inminente terremoto.

Los científicos de muchos países están interesados en encontrar las causas del comportamiento extraño. Han sugerido que las causas probables pueden ser una o más de las siguientes:

1. pequeños cambios en el campo magnético terrestre;
2. cantidades crecientes de electricidad en el aire;
3. cambios muy pequeños de la presión del aire;
4. cambios en el nivel de ruido;
5. gas que escapa desde el terreno.

Cuando los científicos encuentren las causas del extraño comportamiento animal, podrán ser capaces de predecir los terremotos con horas de antelación.

## • RASGOS EXTRAÑOS EN EL PISO OCEANICO

(Extractado de "Oceanus")

Desde 1977, sumergibles de investigación, que pueden alcanzar grandes profundidades, han hecho descubrimientos sorprendentes en algunos lugares del piso oceánico. Encontraron gigantescas grietas en la corteza de la Tierra, enormes montañas, volcanes activos y formaciones de lava poco comunes. Pero, los descubrimientos más extraños fueron las fuentes termales ubicadas cerca de las montañas submarinas del Océano Pacífico Oriental.

Estas fuentes termales, también llamadas "humeadores negros" y "humeadores blanco", arrojan borbotones de agua caliente desde orificios en el piso oceánico. El agua que sale de un humeador negro, está a lo menos a 350°C. Es lo suficientemente caliente como para derretir las barras plásticas que soportan los termómetros oceanográficos. El agua en los humeadores blancos no es tan caliente.

Las fuentes termales están alrededor de 2.500 metros bajo la superficie del océano. Debido a la gran presión existente a esas profundidades, el agua de las fuentes termales no hierve.

Los geólogos creen que las fuentes termales se desarrollaron cuando el agua fría del océano, que se filtra dentro de la corteza, es calentada por el material magmático que asciende desde el manto. El agua calentada disuelve los minerales en el magma. Las fuentes termales irrumpen en el océano y son enfriadas por las aguas del mar. A medida que el agua se enfría, los minerales en ella se depositan alrededor de los agujeros en estructuras similares a chimeneas. Estas estructuras son montones de valiosos depósitos minerales que a veces tienen 10 metros de alto.

Muchos organismos extraños, tales como gigantescos gusanos, prosperan en las fuentes termales. Estos animales únicos se alimentan de bacterias que no dependen de la energía proveniente del Sol. Los científicos continuarán estudiando las desacostumbradas formaciones y organismos encontrados cerca de las fuentes termales submarinas.

**B) RESUMEN DEL CAPITULO**

- La Tierra tiene una forma casi esférica. Su perímetro en el ecuador es de alrededor de 40.000 kilómetros.
- La mayor parte de los sismos son el resultado de movimiento de las rocas a lo largo de una falla.
- Las ondas sísmicas son de tres tipos diferentes, las ondas primarias o longitudinales, las ondas secundarias o transversales y las ondas superficiales.
- Las capas de la Tierra de afuera hacia adentro son: la corteza, el manto, el núcleo externo y el núcleo interno.

**C) PREGUNTAS / PROBLEMAS**

1. Describe las capas de la Tierra.
2. Explica cómo se generan las ondas sísmicas.
3. Explica las diferencias entre las ondas sísmicas longitudinales y las transversales.
4. Describe la distribución de las velocidades de las ondas sísmicas, en las distintas capas de la Tierra.
5. ¿Por qué los científicos piensan que el núcleo externo de la Tierra es líquido?
6. Explica qué significa un sismo de foco profundo.
7. ¿Cuáles son algunas posibles causas del extraño comportamiento de los animales antes de un sismo?
8. ¿Por qué los científicos están interesados en determinar las causas de este comportamiento?
9. ¿Dónde se encuentran las fuentes termales?
10. ¿Qué es un humeador negro?

#### D) INVESTIGACION COMPLEMENTARIA

1. Calcule cuál sería la temperatura en el centro de la Tierra, si el gradiente geotérmico de  $2^{\circ}\text{C}$  cada 100 metros existente en la corteza continuara hasta el centro de la Tierra. El radio de la Tierra es 6.370 kilómetros. Sea  $15^{\circ}\text{C}$  la temperatura inicial de la corteza. Compare su resultado con la temperatura sugerida del núcleo de la Tierra de  $5.500^{\circ}\text{C}$ .
2. Utilizando una enciclopedia u otros recursos de la biblioteca, describa y dibuje dos tipos de sismógrafos.
3. Encuentre cinco hechos significativos o poco usuales acerca de terremotos famosos.
4. Averigüe si existe en su ciudad alguna institución técnica o universitaria, relacionada con geografía o ciencias de la Tierra, que tenga instrumental sismológico y visítela con el objeto de conocer este tipo de equipos en funcionamiento.
5. Diseñe una ficha descriptiva de la Tierra, con los datos principales: medidas, forma, características, etc.

**E) CUESTIONARIO DEL CAPITULO**

**A.Vocabulario:** En los paréntesis del margen izquierdo, coloca la letra de la Columna II que corresponda al término definido en la Columna I.

| <b>Columna 1</b>  | <b>Columna II</b> |
|---|-------------------|
| ( ) 1. forma en que la energía viaja a través de la Tierra  | a. epicentro      |
| ( ) 2. instrumento que detecta ondas sísmicas   | b. manto          |
| ( ) 3. capa de la Tierra que varía en espesor entre 5 y 35 kilómetros                                   | c. ondas sísmicas |
| ( ) 4. capa de la Tierra entre la corteza y el núcleo externo   | d. sismógrafo     |
| ( ) 5. el punto de la superficie de la Tierra que está sobre el foco de un sismo                        | e. magnitud       |
| ( ) 6. mezcla fundida que asciende desde el manto a la superficie y forma las rocas ígneas y volcánicas | f. corteza        |
| ( ) 7. medida de la energía desprendida en el foco de un sismo  | g. falla          |
| ( ) 8. capa más externa de la Tierra que incluye corteza y manto superior                               | h. astenosfera    |
| ( ) 9. capa de la Tierra ubicada entre 100 y 700 kilómetros de profundidad que tiene poca solidez       | i. magma          |
| ( ) 10. movimiento relativo entre bloques de la corteza   | j. litosfera      |
|   | k. mesosfera      |
|   | l. intensidad     |

**B. Selección Múltiple.** Escoja y marque la letra que completa mejor la frase o que responde a la pregunta.

1. La corteza terrestre es:
  - a) del mismo espesor en todas partes
  - b) más gruesa bajo los continentes
  - c) líquida
  - d) muy fría en sus partes más profundas
  
2. El núcleo de la Tierra:
  - a) es de naturaleza uniforme
  - b) queda inmediatamente bajo el manto
  - c) está hecho principalmente de hierro
  - d) es frío
  
3. El manto:
  - a) es el mismo en todas partes
  - b) contiene a la astenosfera
  - c) es roca sólida
  - d) es una capa delgada
  
4. La mayor parte de los sismos ocurren cerca de:
  - a) grandes ciudades
  - b) el borde de las placas tectónicas
  - c) los ríos
  - d) los mares interiores
  
5. Una onda sísmica que viaja sólo en la superficie de la Tierra es:
  - a) una onda P
  - b) una onda S
  - c) una onda B
  - d) una onda L
  
6. Los científicos usan la diferencia en el tiempo de llegada de las ondas P y S para encontrar la ubicación de:
  - a) una falla
  - b) un foco
  - c) un epicentro
  - d) vibraciones del terreno

7. La superficie que ocupa el Océano Pacífico corresponde a:
  - a) el 70% del total de la superficie de la Tierra
  - b) el 80% de la superficie del Hemisferio Sur
  - c) un tercio de la superficie total de la Tierra
  - d) una quinta parte del total de los océanos
  
8. El achatamiento de la esfera terrestre se debe
  - a) a la dirección de las grandes corrientes marinas
  - b) al flujo de material viscoso y caliente en su interior
  - c) a la fuerza centrífuga provocada por la rotación
  - d) al patrón global de vientos en la atmósfera