

# Selección de Experimentos simples para entender una **Tierra complicada**



Susana A. Alaniz Álvarez, Ángel F. Nieto Samaniego, Mariano Cerca,  
Dora Carreón Freyre, Miguel de Icaza Herrera



Compiladora: Susana A. Alaniz Álvarez  
Ilustrador: Luis David Morán Torres







Selección de

**Experimentos simples**

para entender una

**Tierra complicada**



**SEG**



La impresión de este libro fue financiada por el  
Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación  
y Mejoramiento de la Enseñanza UNAM PE 104916  
y por la Secretaría de Educación de Guanajuato.

Selección de

# Experimentos simples

para entender una

## Tierra complicada

**Susana A. Alaniz Álvarez  
Ángel F. Nieto Samaniego  
Mariano Cerca  
Dora Carreón Freyre  
Miguel de Icaza Herrera**

Compiladora: Susana A. Alaniz Álvarez

Ilustrador: Luis David Morán Torres



Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers

Rector

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario General

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario Administrativo

Dra. María Teresa Uriarte Castañeda

Coordinadora de Difusión Cultural

Dr. William Henry Lee Alardín

Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Gerardo Carrasco Núñez

Director del Centro de Geociencias

Lic. Javier Martínez Ramírez

Director General de Publicaciones y Fomento Editorial

Dra. Susana A. Alaniz Álvarez

Dr. Ángel F. Nieto Samaniego

Dr. Manuel Lozano Leyva

Coordinadores de la serie

"Experimentos simples para entender una Tierra complicada"

Susana A. Alaniz Álvarez

Compiladora

Mtra. Mariana Larrañaga Ramírez

M. en C. Aurora Asprón Ramírez

Diseño y Formación

Luis David Morán Torres

Ilustraciones

Primera edición. Septiembre 2016

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, CDMX

Centro de Geociencias

Universidad Nacional Autónoma de México

Boulevard Juriquilla núm. 3001, Juriquilla, Querétaro

C.P. 76230, México

"Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio

sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales"

ISBN 978-607-02-8319-2

Impreso y hecho en México

# Índice

Agradecimientos .....	11
Acerca de los autores .....	13
Introducción .....	15
Capítulo 1.	
<b>La presión atmosférica y la caída de los cuerpos .....</b>	<b>17</b>
Galileo Galilei (1564-1642) .....	21
1.1 ¿La botella está vacía? .....	23
<i>Experimenta con... las leyes de los gases</i>	
1.2 El vaso que no tira el agua. ....	25
<i>Experimenta con... la presión atmosférica</i>	
1.3 La vela que hace subir el agua. ....	27
<i>Experimenta con... cambios de volumen del aire</i>	
1.4 Cómo atravesar un globo...sin que se reviente .....	29
<i>Experimenta con.... la resistencia de los materiales</i>	
1.5 Cómo hundir un gotero vacío.....	31
<i>Experimenta con...los principios de Pascal y Arquímedes</i>	
1.6 Mándalos a volar. ....	33
<i>Experimenta con... la resistencia del aire</i>	
1.7 ¡¡¡Bajan!!! .....	35
<i>Experimenta como Galileo Galilei</i>	
1.8 ¿Cuál cae primero? .....	37
<i>Experimenta con... La ley de gravedad</i>	
1.9 En la resbaladilla.....	39
<i>Experimenta con... el plano inclinado de Galileo</i>	



## Capítulo 2.

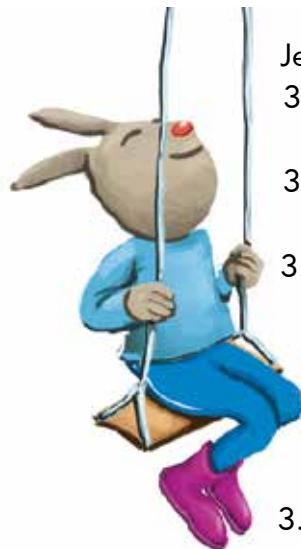
### **Eureka ¡Los continentes y los océanos flotan! . . . . . 41**

2.1 Viaje al centro de la Tierra . . . . .	45
<i>Experimenta con... la densidad</i>	
2.2 Nada persiste contra el fluir del día . . . . .	49
<i>Experimenta con... la viscosidad</i>	
2.3 Bajo el agua y sin mojarse . . . . .	51
<i>Experimenta con... la flotabilidad</i>	
2.4 Cambiando de aire . . . . .	53
<i>Experimenta con... el peso el aire</i>	
2.5 Cuando el calor se va . . . . .	55
<i>Experimenta con...la transmisión del calor</i>	
2.6 En el mar, la vida es más liviana . . . . .	57
<i>Experimenta con...cambios de densidad</i>	
2.7 Ahogándose en un vaso de agua . . . . .	60
<i>Experimenta con... el principio de Arquímedes</i>	
2.8 ¿Qué pesa más? . . . . .	63
<i>Experimenta con... la isostasia</i>	



## Capítulo 3

### **El clima pendiendo de un hilo . . . . . 67**



Jean Bernard León Foucault . . . . .	71
3.1 Para medir el tiempo me basta un hilo y un tornillo . . . . .	73
<i>Experimenta con...el péndulo</i>	
3.2 Hagamos una elipse . . . . .	75
<i>Experimenta con...la diferencia entre círculo y elipse</i>	
3.3 "...Y sin embargo se mueve" . . . . .	77
<i>Experimenta con...la rotación de la Tierra</i>	
3.4 "El paraíso lo prefiero por el clima, el infierno por la compañía" . . . . .	79
<i>Experimenta con...el efecto invernadero</i>	
3.5 Persiguiendo tu propia sombra . . . . .	81
<i>Experimenta con...la inclinación de los rayos solares</i>	
3.6 ¿Cuánta energía se requiere para cambiar la temperatura? . . . . .	83
<i>Experimenta con...la capacidad para almacenar el calor</i>	
3.7 El motor de los mares . . . . .	85
<i>Experimenta con...las corrientes marinas</i>	
3.8 La densidad como motor del viento . . . . .	87
3.9 El efecto coriolis . . . . .	89
<i>Experimenta con...el efecto Coriolis</i>	
Conversación sobre el Péndulo de Foucault . . . . .	91

## Capítulo 4

### **La Medición de la Tierra ..... 97**

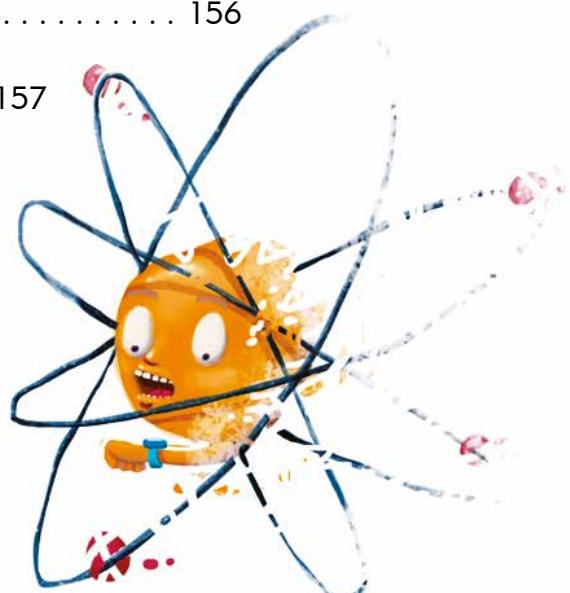
Eratóstenes de Cirene.....	101
Las primeras mediciones	
4.1 La medición de la circunferencia de la Tierra .....	107
<i>Experimenta con... la trigonometría</i>	
4.2 Rayos paralelos y divergentes.....	112
<i>Experimenta con... la redondez de la Tierra</i>	
4.3 Explorar para hacer un mapa.....	114
<i>Experimenta con...la Cartografía</i>	
4.4 Medir hacia el interior de la Tierra .....	117
<i>Experimenta con...pliegues</i>	
4.5 Medición de distancias con ondas .....	119
<i>Experimenta con...ondas</i>	
4.6 Medición de las propiedades de los materiales de la Tierra.....	122
<i>Experimenta con... suelos</i>	
4.6a Medir el contenido de agua del suelo .....	123
<i>Experimenta con... la humedad</i>	
4.6b Medir la consistencia del suelo .....	124
<i>Experimenta con...el esfuerzo y resistencia</i>	
4.6c Medir el cambio del volumen del suelo .....	126
<i>Experimenta con...la expansión del suelo</i>	
4.7 Mide la resistencia de los materiales geológicos .....	127
<i>Experimenta con... la flexión .....</i>	
4.7a Medir la resistencia a la flexión .....	128
4.7b Medir la resistencia a la compresión .....	129



Capítulo 5

**La edad de la Tierra . . . . . 131**

Cálculos basados en la Biblia . . . . .	135
Las Leyes de la Genética . . . . .	135
5.1 Probabilidad de heredar ojos claros . . . . .	137
<i>Experimenta con... la Genética</i>	
Cálculos basados en el registro de Fósiles . . . . .	139
5.2 Especies que se extinguieron . . . . .	140
<i>Experimenta con... fósiles</i>	
Cálculo basado en la pérdida de calor de la tierra . . . . .	142
5.3 Transmisión de calor . . . . .	143
<i>Experimenta con... capacidad de conducir el calor</i>	
Cálculos basados en la salinidad del agua de mar . . . . .	146
5.4 Endulzando el mar . . . . .	147
<i>Experimenta con... Disolución, evaporación y condensación</i>	
5.5 Cristalización . . . . .	150
<i>Experimenta con... soluciones</i>	
Cálculos basados en el registro geológico . . . . .	153
5.6 Haciendo arenas movedizas . . . . .	154
<i>Experimenta con... mezclas</i>	
Cálculos basados en la desintegración radiactiva . . . . .	156
<i>El aporte de Ernest Rutherford</i>	
5.7 "Choque de átomos" . . . . .	157
<i>Experimenta como Rutherford</i>	
5.8 Vida Media de un pastel . . . . .	159
<i>Experimenta con... la radiactividad</i>	
Cálculo de la edad de la Tierra obtenida por medio de material radiactivo . . . . .	161
Índice Temático . . . . .	163



# Agradecimientos

Este libro está formado por los cinco fascículos de la serie "Experimentos simples para entender una Tierra complicada". Se modificaron ligeramente algunos textos y se añadieron unos pocos experimentos. Queremos agradecer a las siguientes personas, quienes contribuyeron a la realización de dichos fascículos. La idea original de una serie coleccional con experimentos científicos para niños fue de la Dra. Yuria Cruz Alaniz. Las personas que revisaron que el contenido científico fuera lo más preciso y exacto posible fueron: las Dras. Susana Orozco Segovia, Rosalba Fuentes Ramírez, María Teresa Orozco Esquivel, Marina Manea, Emilia Cruz Alaniz, y los Dres. Gerardo Carmona Ruiz, Manuel Lozano Leyva, Rafael Méndez Sánchez, Miguel de Icaza Herrera, Vlad Manea, Fernando García García, Gilles Pierre René Levresse, Jaime H. Urrutia Fucugauchi, Pablo Lledo Fernández, Carlos González León, Francisco Vega Vera, Luigi Solari, Juan Carlos García Barragán y Mario Andrés Cuéllar Cárdenas. Las personas que revisaron la claridad de las explicaciones fueron los M. en C. Antonino Márquez Sarmiento, Adriana Meyers, María Carolina Muñoz Torres, los Ings. Jesús Silva Corona y Juan José Martínez Vásquez, el Fis. José Ramón Hernández Balanzar, la Profa. Alicia Serrano García, la Lic. Teresa Soledad Medina y el Sr. Ricardo Carrizosa. Evangelina Rice, la M. en Psic. Aurora M. Asprón, Patricia Alaniz, el Ing. Joaquín E. Alaniz Álvarez y la Sra. Ofelia Teja amablemente reprodujeron los experimentos en sus casas durante las primeras versiones del manuscrito. El estilo y la redacción fueron revisados por María Eugenia Yllades Nieto, Héctor Curiel García y Teresa Orozco. La realización de este libro fue posible gracias al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza de la UNAM, PE104916.



# Acerca de los autores

## **Susana Alicia Alaniz Álvarez**

Estudió la carrera de Ingeniería Geológica y obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es Investigadora Titular "C" en el Centro de Geociencias, y profesora del Posgrado y de la licenciatura de Ciencias de la Tierra en el campus Juriquilla de la UNAM. Autora de 77 publicaciones científicas. Pertenece a la Academia Mexicana de Ciencias, es nivel III del Sistema Nacional de Investigadores y es Académica de número de la Academia de Ingeniería.

## **Ángel Francisco Nieto Samaniego**

Obtuvo su doctorado en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con especialidad en Tectónica. Investigador Titular "C" y profesor de Posgrado en el Centro de Geociencias de la UNAM. Fue presidente de la Sociedad Geológica Mexicana y editor del Volumen Conmemorativo del Centenario de dicha sociedad. Es nivel III del Sistema Nacional de Investigadores, miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y pertenece a comités editoriales de revistas científicas nacionales y extranjeras. Ha publicado 80 trabajos científicos y 12 de divulgación.

## **Mariano Cerca**

Trabaja en el Centro de Geociencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el área de Geología. Obtuvo la Licenciatura en Oceanología (especialidad Geología en 1995), una Maestría en Geofísica Aplicada (1998) y el Doctorado con la especialidad de Geología Estructural y Tectónica (2004). Realizó un Posdoctorado en el Instituto de Geología de la UNAM (2004-2006). Desde 2006 se ha dedicado a estudiar la mecánica de materiales geológicos desde un punto de vista experimental en el Laboratorio de Mecánica Geosistemas. Investigador Titular B y nivel II en el SNI.

## **Dora Carreón Freyre**

Es Investigadora en el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, con doctorado en Ingeniería Geológica por la Escuela de Minas de París. Estudia las relaciones esfuerzo-deformación de materiales geológicos y el fracturamiento del subsuelo en zonas urbanas. Es corresponsable del Laboratorio de Mecánica Geosistemas (LAMG). Fundó el Centro de Evaluación de Riesgo Geológico de la Delegación Iztapalapa de la CDMX. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, a la Academia de Ingeniería México y es Presidente del Grupo de Trabajo de Subsidencia del Terreno de la UNESCO.

## **Miguel de Icaza Herrera**

Estudió la carrera de Físico en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (1970-1973) y el posgrado en la Universidad de Poitiers (1973-1976) en Francia obteniendo la mención “Très honorable” en su tesis doctoral. De 1980 a 1990 diseñó, desarrolló y explotó el gran cañón del laboratorio de Altas Presiones Dinámicas del Instituto de Física de la UNAM, que todavía se encuentra en funcionamiento. A partir de 1991 se encarga del laboratorio de Ultrasónica, trasladado al Campus Juriquilla desde 1997. Es miembro del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM.

## **Luis David Morán Torres**

Ilustrador, diseñador gráfico y pintor nacido en la ciudad de México (1984). Ha estado involucrado en proyectos de diseño gráfico en instituciones como el INBA, el Instituto de Cultura del Estado de Querétaro y ha ilustrado 6 de los libros Experimentos Simples para Entender una Tierra Complicada. Actualmente desarrolla su actividad pictórica en el estado de Querétaro.

# Introducción

Este libro compila cinco de los ocho fascículos de la serie "Experimentos simples para entender una Tierra complicada": La presión atmosférica y la caída de los cuerpos, ¡Eureka! Los continentes y los océanos flotan, El clima pendiendo de un hilo, La medición de la Tierra, y La edad de la Tierra. Se modificaron la mayoría de las ilustraciones, se extendieron algunas explicaciones y se añadieron algunos pocos experimentos.

Este libro pretende dar una idea general de cómo funciona la ciencia a través de experimentos propuestos por grandes científicos (entre otros: Galileo Galilei, Ernest Rutherford, Arquímedes, Eratóstenes, León Foucault, Charles Lyell, Arthur Holmes, Gregor Mendel). La ciencia nos permite entender el mundo que nos rodea y los experimentos científicos nos ayudan a contestar preguntas que a simple vista no podemos explicar. Las preguntas que se contestan con los experimentos de este libro van desde muy simples: ¿el peso determina la velocidad de caída de un objeto?, hasta muy complicadas: ¿cuál es la estructura de un átomo? Verás que algunas preguntas fundamentales sobre ciencia se responden con los experimentos de este libro, por ejemplo: ¿se puede comprobar la rotación de la Tierra sin mirar los astros?, ¿cómo se puede saber la edad de la Tierra?, ¿se puede medir la circunferencia de la Tierra con una cinta métrica?, ¿por qué objetos con la misma temperatura se sienten unos más fríos que otros?, ¿por qué flotan los objetos?, Estas preguntas las contestaron grandes científicos usando materiales que encuentras en tu casa o en tu escuela; con este libro tú también podrás contestarlas.



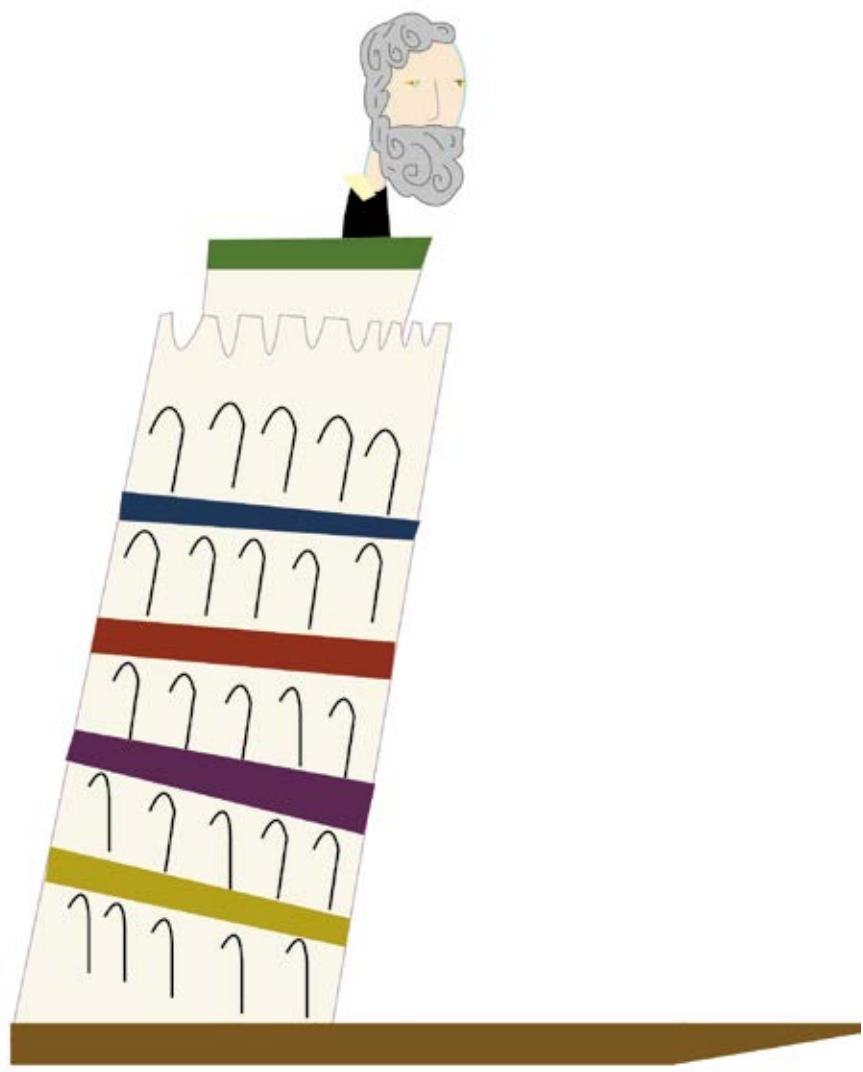
# **La presión atmosférica y la caída de los cuerpos**

**Susana A. Alaniz Álvarez  
Ángel F. Nieto Samaniego**



Galileo Galilei

El lugar que el *homo sapiens* ocupa en la historia de la Tierra podría considerarse muy, pero muy pequeño, ya que únicamente ha estado presente en los últimos 200 000 años de más de 4500 millones de años que tiene la Tierra. Además, sólo alcanza una altura de menos de 2 m sobre la capa superficial de un planeta de más de 6380 km de radio de capa sólida-líquida y bajo una capa de casi 120 km de atmósfera. No obstante, los humanos nos hemos empeñado en conocer nuestro planeta a fondo, calculando o estimando el valor de sus atributos físicos: masa, volumen, densidad, temperaturas, presiones, etc., los cuales están muy fuera de los límites que pueden percibir sus sentidos. Uno se pregunta ¿por qué esta criatura insignificante conoce tanto de la naturaleza de su planeta y a qué se debe su insistencia en desentrañar las leyes que lo gobiernan? Una respuesta entre otras puede ser: por la curiosidad de ciertos personajes que se atrevieron a visualizar más allá de sus horizontes, uno de ellos sin duda fue Galileo Galilei.



## Galileo Galilei (1564-1642)

Gran parte del avance de la Física se debe a Galileo Galilei, considerado el padre de la ciencia experimental. Este profesor de Matemáticas nacido en Pisa, Italia, fue el primer hijo de un músico virtuoso del laúd. El principal interés de Galileo no se limitó a preguntarse cómo funciona el movimiento en la Tierra, sino también el del sistema solar. Su fama se debe a la frase "y sin embargo se mueve", que supuestamente dijo ante un jurado de la Inquisición.

Independientemente de que la haya dicho o no, lo que sí se sabe es que descubrió el meollo del movimiento de un péndulo en plena misa observando las oscilaciones de una lámpara en la catedral de Pisa y midiendo el tiempo con sus pulsaciones. En el s. XVII no existía un sistema de medición como el que ahora tenemos, pero se las arregló para cronometrar sus experimentos: primero con sus pulsaciones, después con el péndulo; también midió el tiempo con la cantidad de volumen de agua que caía en una probeta graduada y aprovechó una melodía tocada por él en el laúd para marcar en la partitura hasta dónde había llegado.

Se las ingenió para escudriñar el cielo y diseñó un telescopio de 8 aumentos, con él descubrió: los cráteres de la Luna, las manchas solares, el anillo de Saturno y las lunas de Júpiter. Además se dio cuenta de que Copérnico tenía razón y que la Tierra gira alrededor del Sol, pero a diferencia de aquél, Galileo lo publicó. Esto último le ocasionó muchos problemas con la Iglesia católica y con esto un gran pesar dentro de su grandiosa y exitosa vida.

La genialidad de Galileo consistió, entre otras cosas, en medir el espacio y el tiempo, con esto consiguió establecer las fórmulas matemáticas para describir el movimiento, desde la caída de los objetos de la Torre de Pisa hasta el desplazamiento de Júpiter.



## 1.1 ¿La botella está vacía?

*¿Te has fijado que el aire está aunque no lo veamos, y que lo respiras por la nariz y por la boca?*

### Materiales



### Procedimiento

- 1 Tapa el cuello de la botella con el globo.
- 2 Llena uno de los recipientes con agua caliente y el otro con agua fría.
- 3 Pon la botella dentro del recipiente con agua caliente y después pásalo al que contiene agua fría.



### ¿Qué pasó?

En uno de los dos casos se infla el globo; en el otro se desinfla.



### Variaciones

Mete la botella tapada con el globo al congelador. Hazlo con una botella de refresco.

El experimento puede fallar si hay fuga de aire entre el globo y la botella, y también si la diferencia de temperatura no es suficiente para cambiar notablemente el volumen del aire dentro de la botella.

## Explícalo

El aire es un gas y, como todos ellos, se expande con el aumento de la temperatura y ocupa más espacio. Por el contrario, con el frío se comprime y ocupa menos espacio. Nota que es la misma cantidad de aire.

## Aplícalo a tu vida

Los globos aerostáticos vuelan porque el aire caliente se expande hasta que pesa menos que el aire que lo rodea. Los buzos respiran bajo el agua gracias al aire comprimido que está en un tanque, es decir mucho aire en poco espacio.



## ¿Quieres saber más?

Los gases pueden cambiar su volumen por un cambio de la temperatura o de la presión. A más temperatura y menos presión, ocupan mayor volumen.

## Obsérvalo en la Naturaleza

### **La atmósfera**

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea el planeta y está compuesta principalmente por una mezcla de gases que denominamos aire.

La temperatura del aire disminuye con la altura a una razón de  $6.5^{\circ}\text{C}$  por cada 1000 m; si consideramos que la temperatura promedio a nivel del mar es de  $20^{\circ}\text{C}$ , alcanzaremos la temperatura de congelación del agua cerca de los 3000 metros sobre el nivel del mar.

La atmósfera está compuesta por aproximadamente 78 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno y 1 % de otros gases. A estos constituyentes hay que añadir el vapor de agua, que puede variar entre el 0 % y el 5 % del total. A medida que aumenta el contenido de vapor de agua, el de los demás gases disminuye proporcionalmente.

**Ley de dilatación de los gases de Gay-Lussac:** "La dilatación de los gases es función de la temperatura e independiente de la naturaleza de los mismos".

**Ley de Charles y Gay-Lussac:** "El volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura si la presión se mantiene constante"

## 1.2 El vaso que no tira el agua

*¿Te has fijado que tu vaso con leche se vacía cuando lo volteas?  
¿Qué estamos en el fondo de un mar de aire?*

### Materiales



1 vaso con agua



1 pedazo de papel

### Procedimiento

- 1** Tapa el vaso con agua con un pedazo de papel más grande que su boca, procura que se moje el papel que está en contacto con el vaso.
- 2** Pon una mano sobre el papel y voltéalo boca abajo; retira la mano que sostiene el papel pero sigue sosteniendo el vaso.
- 3** De preferencia hazlo en el patio por si no funciona el experimento.

### ¿Qué pasó?

Que el agua no se cae aunque el vaso esté boca abajo, aunque esté lleno, aunque esté medio vacío.

### Variaciones

Introduce un popote en un vaso con agua y tapa con tu dedo la parte superior. Saca el popote del agua y verás que el agua no se cae hasta que separas el dedo de la parte superior del popote.

Este experimento puede fallar si entra aire al vaso.



## Explícalo

El aire que está cerca de la superficie de la Tierra tiene encima una capa de varios kilómetros de altura a la que conocemos como atmósfera. Mientras más cerca del nivel del mar vivas, más alta es esa capa. Esa capa de aire empuja hacia todas direcciones, también hacia arriba, venciendo al peso del agua; es por esto que el aire atrapado en el vaso no puede caer.

## Aplicalo a tu vida

Cuando el bebé toma del biberón, éste debe tener una entrada de aire para que pueda salir la leche cuando succiona el bebé.

A las latas que contienen líquidos se les debe hacer dos orificios para que la entrada de aire por uno permita la salida del líquido por el otro.

## ¿Quieres saber más?

### Presión atmosférica

La atmósfera está compuesta por varias capas. El aire, al igual que todos los materiales, tiene un peso, poco pero pesa. El peso de la columna de aire que está sobre nosotros ejerce una presión en todas direcciones. La capa de la atmósfera más cercana a la superficie de la Tierra se llama tropósfera, alcanza 9 km en los polos y los 18 km en el ecuador. Se ha calculado que el peso del aire es de 0.001 kilo\* por cada litro (1 litro es igual a 1 decímetro cúbico), lo puedes comparar con el peso del agua que es de 1 kilo por cada litro, con el de una roca promedio que pesa 2.3 kilos y con el del cuerpo humano, cuyo peso promedio es de 0.95 kilos por ese mismo volumen (muy cercano al del agua). El peso de la columna de aire producirá una presión mucho mayor en el nivel del mar que arriba de las montañas.

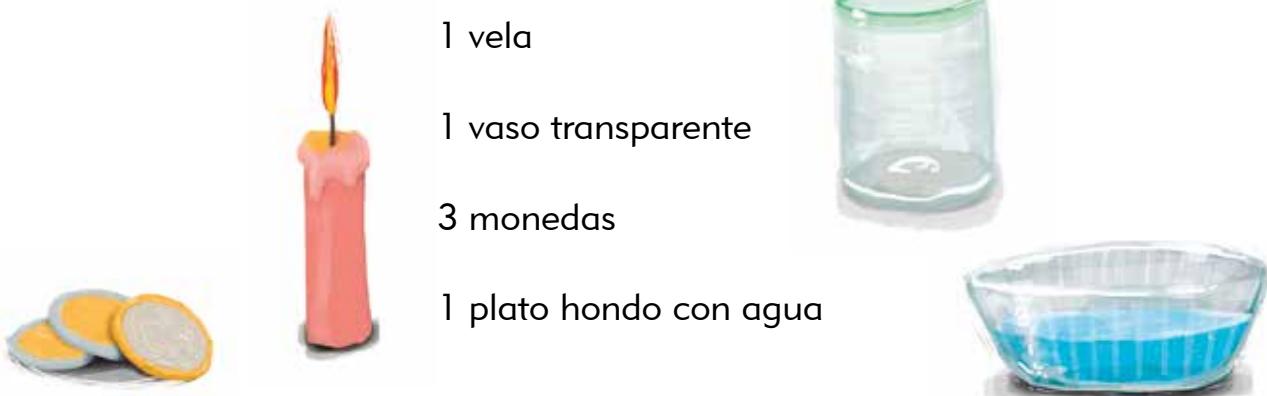
Altitud m s.n.m.		Presión (atmósferas)
0	Nivel del mar	1
2000	Cd. de México	0.78
3000	La Paz, Bolivia	0.7
4000		0.61
5000	Cima del Popocatépetl	0.53
10 000	Altura vuelos trasatlánticos	0.26
15 000		0.12

\* En nuestro lenguaje cotidiano al peso lo medimos en "kilos" y está dado por el número que marca la báscula. En lenguaje técnico, el peso debe estar en unidades de fuerza (kilogramo fuerza o gramo fuerza).

## 1.3 La vela que hace subir el agua

*¿Te has fijado? El agua en un recipiente (en un vaso inclinado, en un lago) siempre está horizontal. La combustión se da en presencia de aire, más específicamente de oxígeno.*

### Materiales



### Procedimiento

- 1 Pega la vela con su misma cera en el centro del plato.
- 2 Al plato ponle agua, más o menos tres centímetros de alto, y acomoda las monedas sobre las que apoyarás el vaso.
- 3 Prende la vela y pon el vaso boca abajo, sobre las monedas, cubriendola, cuidando que pueda pasar el agua adentro del vaso.



### ¿Qué pasó?

La vela se apaga a los pocos segundos de haberla tapado con el vaso.

El nivel del agua sube adentro del vaso.



## Explícalo

La vela se apaga en cuanto se termina el oxígeno. Durante la combustión, se consume el oxígeno y se desprende carbono de la vela formando dióxido de carbono. Una vez que se enfriá, el aire con dióxido de carbono estará a una presión menor, por lo que el agua fluye hacia esa zona.



## Aplícalo a tu vida

Si aíslas algo que se está quemando puedes evitar que siga la combustión; por ejemplo, se recomienda cubrirlo con una cobija de lana. Tal vez hayas observado que algunos curanderos ponen una vela en la espalda del enfermo y colocan un vaso sobre ella; la piel es succionada en cuanto se apaga la vela. Esto es un fenómeno físico muy llamativo.



## Obsérvalo en la Naturaleza

### Vientos, corrientes marinas

Hay muchos factores que influyen en el movimiento de los fluidos (como el aire y el agua); entre estos factores están los cambios en la temperatura y la presión. Los fluidos calientes tienden a subir y a desplazar a los fluidos fríos, los cuales tienden a bajar. El aire se desplaza de las áreas de mayor a menor presión, formándose de esta manera los vientos y las corrientes marinas.

## 1.4 Cómo atravesar un globo... sin que se reviente

### Materiales



1 alfiler o palillo con punta

2 globos



### Procedimiento

- 1** Infla los globos.
- 2** Pica con el alfiler uno de los globos en la parte media.
- 3** Ahora pica el otro globo en cualquiera de las dos puntas.
- 4** Prueba este experimento con una liga y unas tijeras.



### ¿Qué pasó?

Cuando picas el globo por la mitad se revienta. Cuando lo picas por los extremos, aparentemente no pasa nada. Si te acercas, verás que el aire está escapando suavemente por el agujero que hiciste con el alfiler.



Si el globo está muy inflado, se romperá aunque lo perfores en los extremos, si está poco inflado, puede que no estalle aunque lo perfores por la mitad.

## Explícalo

El aire que introduces con tu boca en el globo hace que sus paredes se estiren en unos lugares más que en otros. El aire que está dentro del globo está empujando **igual** en todas direcciones; mientras más aire tiene el globo, estará sujeto a mayor presión. Cuando perforas el globo a la mitad, el material está estiradísimo, cerca de su límite de ruptura, mientras que en los extremos el material todavía es muy fuerte para romperse.

## Aplícalo a tu vida

Cuando un material se estira y vuelve a su estado original sin cambiar de forma, se le conoce como deformación elástica, como ocurre con una liga. Las pelotas rebotan porque cuando pegan en el suelo se deforman, cuando están recuperando su forma hay un empuje en el sentido contrario.

## Obsérvalo en la Naturaleza

Cuando ocurre un sismo, la superficie de la Tierra se deforma elásticamente. El movimiento que sientes es debido a un cambio de forma momentáneo debido al viaje de las ondas sísmicas.

### La densidad del aire

En la atmósfera, la presión, temperatura y densidad son inversamente proporcionales a la altura. A mayor altura, menor presión, menor temperatura y menor densidad del aire.

En la corteza terrestre, la presión, temperatura y densidad son directamente proporcionales a la profundidad. A mayor profundidad, la temperatura, presión y densidad serán mayores.

Con este experimento se puede ver que con la misma cantidad de aire los globos pueden inflarse más o menos dependiendo de la resistencia del material. El aire tendrá una densidad (masa/volumen) mayor dentro de un globo muy resistente. Adentro del globo la presión del aire será igual en todas las direcciones y estará a temperatura constante.



**Ley de Boyle:** "A temperatura constante, los volúmenes ocupados por un gas son inversamente proporcionales a las presiones a las que está sometido".

## 1.5 Cómo hundir un gotero vacío

*¿Te has preguntado alguna vez por qué los barcos de acero flotan en el agua? y ¿te has fijado que tú flotas o te hundes en el agua dependiendo del aire que hay en tus pulmones?*

### Materiales



1 frasco transparente



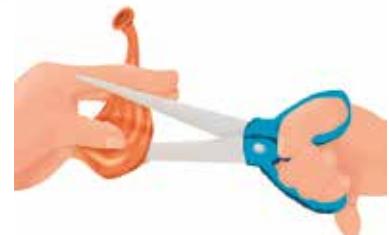
1 gotero

1 globo



### Procedimiento

**1** Llena el frasco con agua, introduce el gotero y tapa el frasco con el globo de tal manera que quede muy estirado, formando una tapa elástica (puedes cortar la punta del globo para que sea del ancho de la boca del frasco).



**2** Presiona el globo hacia abajo y observa cómo se llena el gotero de agua. Si quieres que se hunda más el gotero, ponle agua hasta la mitad antes de meterlo en el frasco.

En vez del gotero puedes usar la cubierta de la pluma o el popote, cubriendole una punta con plastilina.



### ¿Qué pasó?

Cuando empujas el globo hacia abajo, el aire dentro del frasco empuja el agua hacia adentro del gotero.

Si el gotero tiene agua, pesará más que cuando tiene aire, por lo que estará más inclinado. Cuando entra agua, el gotero podrá hundirse.



**Si el gotero es de plástico no se hundirá, ya que la suma del peso del plástico + agua sigue siendo menor que el agua que ocupa ese mismo volumen.**

## Explícalo

Este experimento utiliza dos principios, el de **Pascal**: “*Los líquidos transmiten presiones con la misma intensidad en todas las direcciones*”, y el de **Arquímedes**: “*Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado*”.

Cuando empujas la tapa hacia abajo, el aire que está dentro del frasco empuja el agua hacia dentro del gotero. Cuando sueltas el globo, el aire se expande y el agua sale del gotero.

El gotero flota ya que contiene aire, que pesa casi mil veces menos que el agua. Mientras más aire tenga el gotero, será más ligero. Las cosas ligeras flotan más que las pesadas.

## Aplicalo a tu vida

El freno hidráulico de los autos, el gato hidráulico y la prensa hidráulica son excelentes e importantísimas aplicaciones del Principio de Pascal.

Aunque los barcos sean de acero u otros materiales pesados, flotan, porque el espacio que ocupan dentro del agua contiene mucho aire, siguiendo el Principio de Arquímedes.

Los frascos de catsup, cremas y champú tienen un envase de plástico delgado y flexible para que, al apretarlo, empuje el líquido hacia fuera.

## Obsérvalo en la Naturaleza

El aire caliente tiende a subir. A medida que aumenta la temperatura del aire, sus moléculas se separan y hay más espacio entre ellas. Cuando una masa de aire se eleva, sustituye a otra masa, la cual bajará si está más fría para ocupar el lugar que dejó la primera. Cuando el aire sube se encuentra con una capa que tiene menos presión y por lo tanto, el aire se expandirá. Cuando se separan las moléculas, gastan energía que hace que el gas se enfrie. Es por esto que arriba en las montañas es más frío aunque suba el aire caliente.

## 1.6 Mándalos a volar

*Los objetos pesados a veces caen primero que los ligeros,  
¿por qué a veces?*

### Materiales



1 libro



1 hoja de papel

### Procedimiento

- 1 Sujeta los dos objetos separados, el libro y la hoja, y déjalos caer al mismo tiempo.
- 2 En el segundo intento pon la hoja encima del libro.

### ¿Qué pasó?

En el paso 1 el libro cae mucho más rápido que la hoja, pero cuando la hoja está encima del libro (paso 2) caen al mismo tiempo.



Nada puede fallar en un experimento tan sencillo.

## Explícalo

En el paso 1 el libro es más pesado y vence la resistencia del aire mientras que la hoja será sostenida por ésta. En el paso 2 el libro le abre el camino a la hoja y por lo tanto caen juntos.

## Apícalo a tu vida

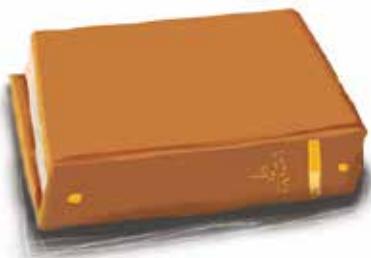
Habrás observado que vuelan los pájaros y los aviones y que se suspenden en el aire el polvo, los paracaidistas y las nubes. Pueden volar y suspenderse gracias al soporte que ofrece el aire. Aunque la dinámica del vuelo de los aviones puede ser muy complicada, tú puedes simular el empuje del aire sobre un avión sacando la mano del coche cuando está en movimiento (¡con mucho cuidado!). Podrás notar que si tu mano toma la forma de las alas de un avión y la inclinas hacia arriba, el viento (aire en movimiento) empujará tu mano hacia arriba.

## ¿Quieres saber más?

### *La ley de gravedad contra la resistencia del aire*

Hay dos factores que afectan la caída de los cuerpos. Uno de ellos, el más importante, es la gravedad. El otro es la resistencia del aire, la cual depende de:

- La velocidad (cuanto más rápido se mueve un objeto en el aire, mayor será la resistencia).
- La forma del objeto (mientras mayor sea la superficie, más impedirá el paso del aire que desplaza, aumentando así la resistencia).
- El contraste de densidades entre del aire y el objeto (si éste es muy ligero, se suspenderá en el aire).



## 1.7 ¡¡¡Bajan!!!

¿Te has fijado que en la escena transmitida desde la Luna por el Apolo 15 se ve que el astronauta arroja una pluma y un martillo y caen al mismo tiempo? prueba aquí en la Tierra que dos objetos de distinto peso pueden caer a la misma velocidad.

### Materiales



2 botellas de plástico

Arena, frijoles o cualquier otro material que aumente el peso de la botella.



### Procedimiento

- 1** Llena uno de los frascos con arena u otro material y el otro déjalo vacío.
- 2** Deja caer los dos frascos al mismo tiempo desde un segundo piso.



Procura que la superficie de caída sea blanda (por ejemplo una caja) para que no se rompan las botellas y puedas utilizarlas varias veces con distintos pesos.



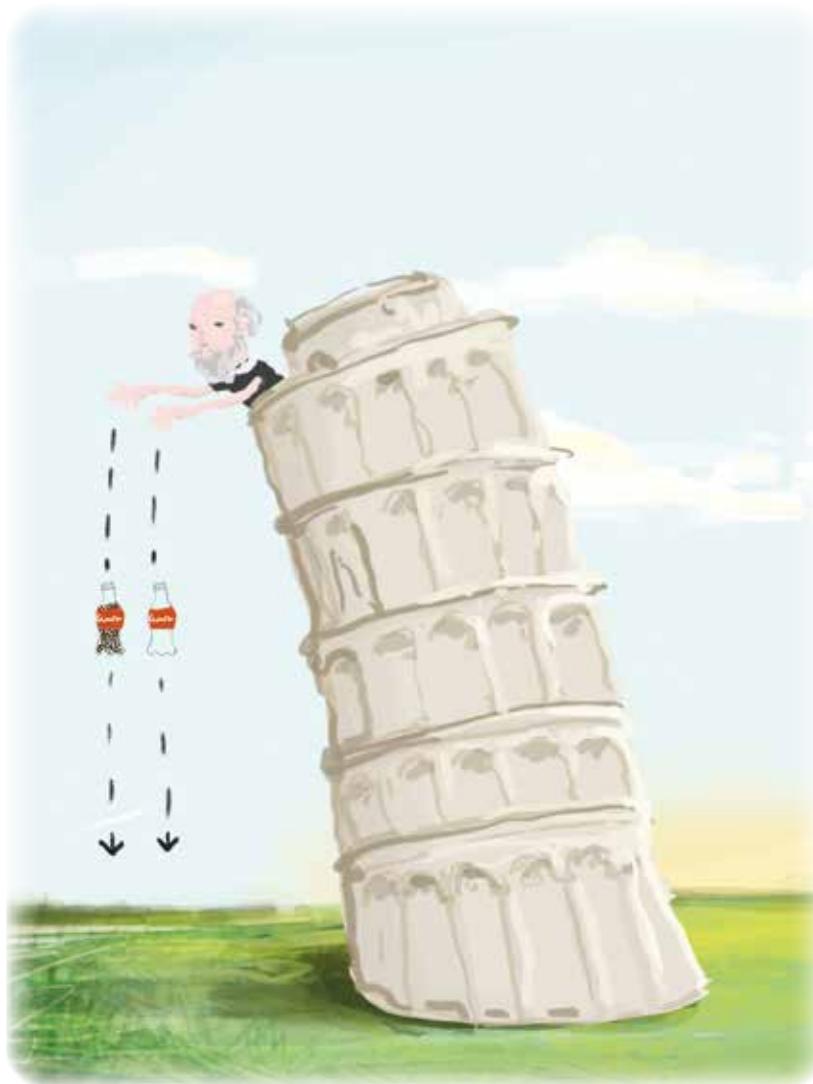


## ¿Qué pasó?

Las dos botellas aterrizan al mismo tiempo aunque tengan distinto peso.

Puede fallar si una de las botellas es demasiado ligera o su superficie es plana; la resistencia del aire puede disminuir o modificar la velocidad de su caída.

## Este experimento en la historia



Hasta el siglo XVI se creía que los objetos más pesados caían más rápido que los ligeros tal como lo había dicho Aristóteles 19 siglos antes. Galileo Galilei, como profesor de Matemáticas en la Universidad de Pisa, cuestionó las creencias de entonces. Arrojó dos objetos de diferente peso desde la torre inclinada de Pisa y mostró que caían al mismo tiempo. Este experimento fue elegido como el segundo más bello en la historia por un grupo de físicos, ya que un ejercicio muy simple demostró que la Naturaleza tiene la última palabra en cuestiones de ciencia.



## 1.8 ¿Cuál cae primero?

*¿Te has fijado que parece que hubiera una fuerza de atracción oculta adentro de la Tierra que hace que todo tienda a pegarse al suelo? Por más alto que saltes, siempre vuelves a la Tierra. Esa fuerza es conocida como gravedad.*

### Materiales



2 canicas, limones o pelotas del tamaño de un limón.

Los dos deben de tener la misma forma y el mismo peso.

### Procedimiento

**1** Sujeta los dos objetos esféricos con una mano entre el dedo índice y el pulgar, cuidando que tu palma esté hacia abajo.



**2** Con la otra mano dale un golpe fuerte a uno de ellos; tiene que ser horizontal, de tal manera que salga disparado hacia el frente.



### ¿Qué pasó?

En el momento en que separas las dos esferas, una de ellas cae al suelo verticalmente y la otra sale hacia el frente.

Las dos caerán al mismo tiempo a pesar de que una de ellas recorre una distancia mayor.

Este experimento fallará si una de las esferas no sale de manera horizontal.



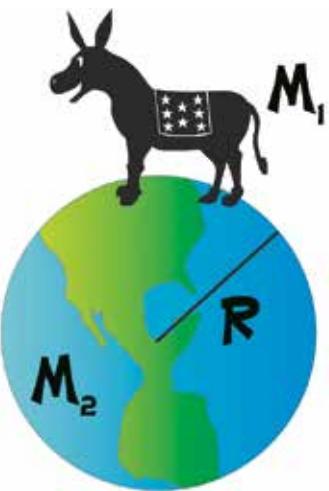
## Explícalo

Hay dos fuerzas que controlan el tiempo de caída de los cuerpos: la de la gravedad y la resistencia del aire. Si tus dos objetos son iguales y la resistencia del aire es despreciable, entonces sólo la fuerza de gravedad influye en el tiempo que tardan en llegar al suelo, aunque uno de ellos viaje un largo tramo horizontalmente.



## Apícalo a tu vida

La gravedad es una fuerza muy importante en la vida cotidiana, estamos pegados al suelo gracias a ella. La línea vertical es aquella perpendicular a la superficie de la Tierra en ese pequeño lugar en el que estás parado. Por eso no importa que estés en el hemisferio norte o sur, en los polos o en el ecuador, el cielo siempre estará arriba de ti cuando estás parado.



## ¿Quieres saber más?

**La ley de gravedad.** La gravedad es la fuerza de atracción que experimentan los objetos. La fuerza de atracción entre dos objetos de masa  $M_1$  y  $M_2$  es directamente proporcional al producto de las masas de cada uno, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ( $R$ ) que los separa.

La fuerza de gravedad, a la cual nosotros le llamamos “peso”, está presente en nuestra experiencia cotidiana ya que es la que nos mantiene unidos a la Tierra. Nota que la masa del planeta es muchísimo más grande que la de cualquier objeto a nuestro alrededor y que la distancia al centro de la Tierra de cualquier objeto humano es esencialmente constante. Así, la gravedad es máxima en la superficie. Disminuye, naturalmente, al alejarse del planeta porque aumenta la distancia entre las masas implicadas. Sin embargo, también disminuye al adentrarse en el interior de la Tierra, ya que cada vez una porción mayor de planeta queda por “encima”, y cada vez es menos la masa que queda por “debajo”.

En el centro de la Tierra, hay una enorme presión por el peso de todo el planeta, pero la gravedad es nula, como en el espacio exterior.

## 1.9 En la resbaladilla

*¿Te has fijado? Cuando bajas en una resbaladilla, mientras más inclinada y larga esté, más rápido lo harás.*

### Materiales



2 tubos PVC de 2 m de largo



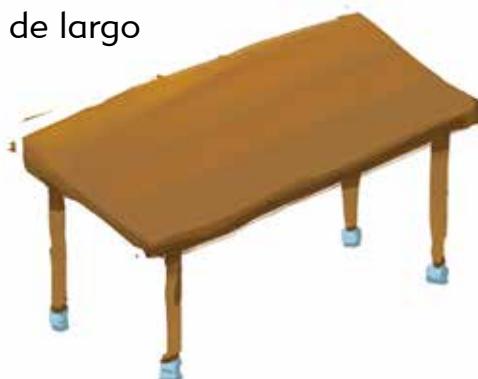
5 canicas



1 regla



1 plumón



1 mesa



2 libros igual de gruesos o cubos de madera

1 cronómetro

### Procedimiento

- 1 Coloca dos libros (o ladrillos) sobre las patas de uno de los extremos de la mesa para inclinarla.
- 2 Pon los dos tubos unidos con tela adhesiva sobre la mesa.
- 3 Marca uno de los tubos cada 30 cm.
- 4 Coloca una canica en la parte más alta de los tubos y suéltala, verifica que ruede hasta el piso.
- 5 Toma el tiempo (desde el inicio hasta cada marca) con el cronómetro y anótalo en una tabla parecida a la de la siguiente página, repite el procedimiento varias veces.



### ¡Qué pasó?

A medida que rueda la canica hacia abajo, el tiempo que tarda entre cada marca es menor, es decir la canica avanza cada vez más rápido recorriendo la misma distancia en menos tiempo.

## Tabla:

	TIEMPOS <b>1</b>	TIEMPOS <b>2</b>	TIEMPOS <b>3</b>	TIEMPOS <b>4</b>	TIEMPOS <b>5</b>	Diferencia de tiempo entre distancias consecutivas
30 cm						
60 cm						
90 cm						
120 cm						
150 cm						
180 cm						
210 cm						

## Este experimento en la historia

Galileo estaba tratando de entender cómo se comportaban los cuerpos cuando caían, pero lo hacían muy rápido, más o menos un objeto tardaba un segundo en caer de diez metros de altura. Por eso ideó un experimento: haría rodar una esfera en un plano inclinado, mientras menos inclinado estuviera, más tardaría en llegar abajo y podría tomar medidas del tiempo con mayor precisión.

Con este experimento, Galileo descubrió que la velocidad de caída cambiaba con el tiempo y que la aceleración no tiene que ver con el peso del objeto que cae (ver experimento ¡Bajan!). Como él era muy listo lo puso en lenguaje matemático: la distancia que recorre un cuerpo que cae es proporcional al tiempo transcurrido elevado al cuadrado ( $d = a t^2$ ).

Gracias a Newton ahora conocemos que el valor de la aceleración en la caída libre en la Tierra, en ausencia de aire, tiene un valor aproximado de  $9.8 \text{ m/s}^2$  y se conoce como "aceleración de la gravedad". Se puede visualizar notando que, en caída libre, distancias iguales cada vez se recorren en menos tiempo o bien, que en el mismo tiempo se recorre cada vez más distancia.

# **¡Eureka! Los continentes y los océanos flotan**

**Susana A. Alaniz Álvarez  
Ángel F. Nieto Samaniego**



La Tierra está llena de misterios y el hombre trata de resolverlos observando, investigando, explorando y experimentando. ¿Qué hay adentro de la Tierra?, ¿por qué hay montañas?, ¿por qué hay océanos?, ¿por qué hacen erupciones los volcanes?, ¿por qué tiembla?, ¿por qué el clima no es uniforme?

Hay misterios más fáciles de resolver que otros, basta preguntar u observar con mucho cuidado; pero hay otros que es más difícil desentrañarlos, en especial, los que ocurren a nivel global porque lo hacen en una escala que rebasa la vida de cualquiera de nosotros. Lo que se sabe de cómo funciona la Tierra se ha obtenido de observaciones de aquí y de allá. Es tan grande y complicada la Tierra que cada fenómeno se puede considerar como si fuera un gran rompecabezas. Sin embargo, no hay que desanimarnos; experimentos sencillos nos permitirán entender fenómenos muy complicados.

Esta contribución está dedicada a Arquímedes (287 a. C.- 212 a. C.), quien observó que su cuerpo pesaba menos cuando era sumergido en agua. Cuando tomaba un baño en la tina, se dio cuenta de que la disminución de su peso era proporcional al volumen de agua desplazado por su cuerpo. En ese momento gritó: ¡Eureka!, que en griego significa: "¡lo encontré!".

Aquí intentamos mostrarte cómo la flotabilidad, descubierta por Arquímedes hace varios siglos, es uno de los principios físicos que influyen en fenómenos tan complicados como el clima, la formación de los volcanes y, sobre todo, en el movimiento de los continentes y océanos.



## 2.1 Viaje al centro de la Tierra

Tal vez hayas visto en la televisión que para simular una situación de “no gravedad”, los astronautas flotan en un avión en caída libre. Los astronautas que necesitan estar más tiempo en esa situación, quizás reparando un módulo espacial, la simulan estando dentro de una alberca.

Prueba este experimento, que te ayudará a entender esto.

### Materiales



1 vaso alto

Agua, alcohol, aceite, miel, piedra, madera, hielo, plata (o cualquier metal), corcho, plástico.

### Procedimiento



**1** Introduce en el vaso lentamente la miel, el agua, el aceite y el alcohol, en ese orden, cuidando que no se mezclen.

**2** Mete con cuidado los materiales sólidos (piedra, madera, etc.).

**3** Prueba con otros materiales e intenta adivinar si flotarán y en cuál líquido lo harán.

**4** A un vaso que contenga únicamente agua mete los materiales sólidos.



### Observa

Algunos materiales se hunden mientras que otros flotan en ciertos líquidos. Si nada más utilizas agua, podrás observar también que unos materiales se hunden más rápido que otros.

**Lo que puede fallar:** Si los líquidos se mezclan, no podrás observar cuál es más denso, ya que se formará un líquido diferente.

## Explícalo

Un objeto se hundirá o flotará en un vaso con agua dependiendo de su densidad, es decir, de cuánta materia tenga en un espacio determinado, o dicho de otra manera, de cuánta masa tiene por unidad de volumen. Una bola de madera de 10 cm de diámetro pesa menos que la bola de agua de 10 cm de diámetro que desaloja cuando aquella se sumerge, pero una bola de plomo de 10 cm pesa más: la madera flota y el plomo se hunde. El peso es la fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo y depende de su masa, mientras que la densidad depende tanto de su masa como de su tamaño. Considera un envase de un litro: si lo llenas de agua pesará 1 kgf (un kilogramo fuerza); si lo llenas de piedras pesará cerca del doble; si lo llenas de oro pesará cerca de 20 veces más, pero si tiene solamente aire pesará 1000 veces menos que el agua (Tabla 1). La densidad se mide en  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{kg/l}$ . La densidad promedio de la Tierra es de 5.5  $\text{g/cm}^3$ .

Volviendo al caso de los astronautas, los técnicos simulan la no gravedad haciendo que el módulo espacial y los astronautas con el equipo tengan una densidad igual que la del agua; de esa manera, el efecto de la gravedad será anulado por el soporte del agua.

**Tabla 1. Densidad de materiales comunes**

Sustancia	Densidad media [ $\text{g/cm}^3$ o $\text{kg/litro}$ ]	Sustancia	Densidad media [ $\text{g/cm}^3$ o $\text{kg/litro}$ ]
Platino	21.4	Sangre	1.6
Oro	19.3	Miel	1.42
Mercurio	13.6	PVC	1.3
Plomo	11.3	Agua de mar	1.03
Plata	10.5	Agua	1
Acero	7.85	Caucho	0.95
Hierro	7.8	Cuerpo humano	0.95
Tierra (planeta)	5.5	Aceite	0.92
Diamante	3.5	Hielo	0.92
Basalto	3	Madera	0.9
Aluminio	2.7	Alcohol	0.78
Granito	2.7	Piedra pómex	0.7
Hormigón armado	2.5	Gasolina	0.68
Vidrio	2.5	Poliuretano	0.04
Carbono	2.26	Aire	0.0013
Grafito	2.2		

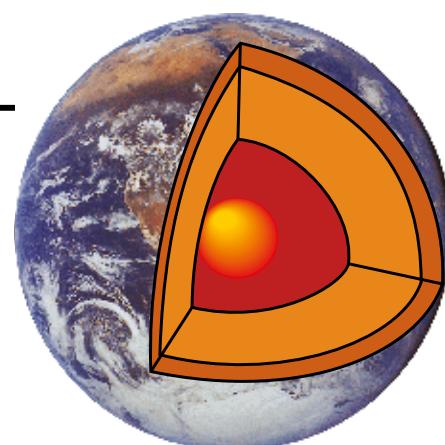
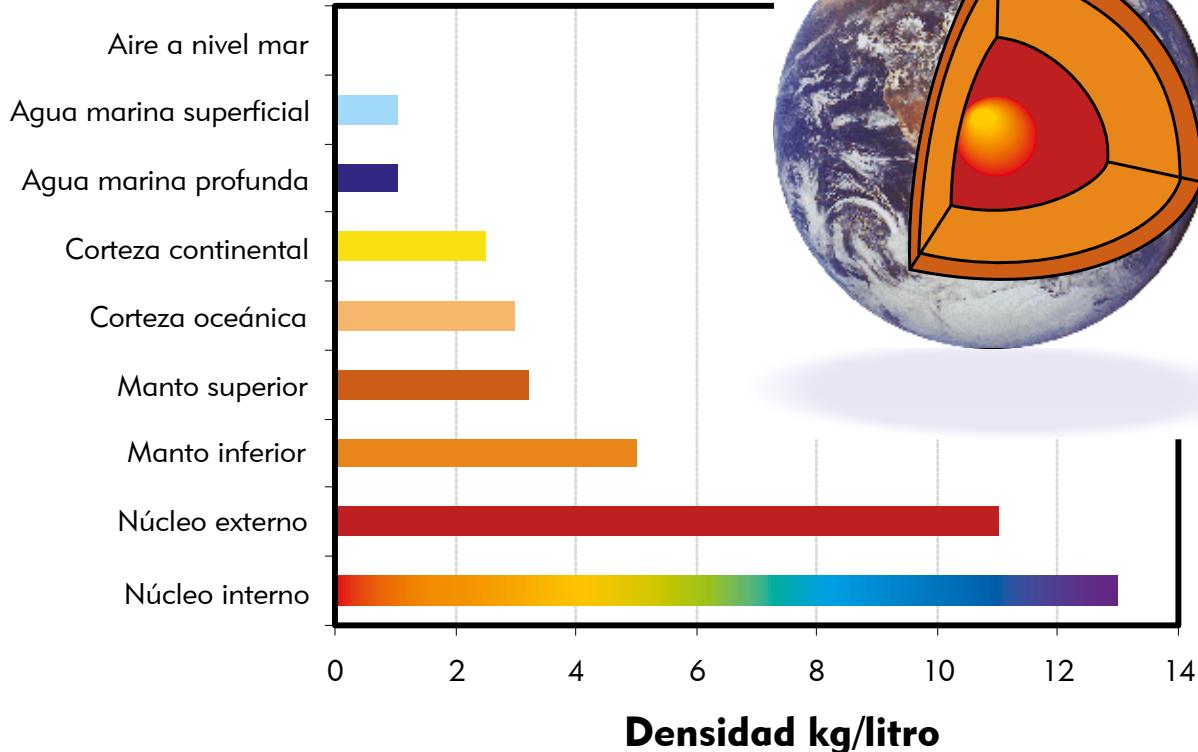
## Apícalo a tu vida

Las capas separadas por densidades las puedes observar fácilmente tanto en líquidos como en gases; por ejemplo, en un caldo de pollo, habrá verduras que floten mientras que el pollo se hunde y el vapor asciende. Conocer la densidad de los gases es importante para saber, en el caso de una fuga de un gas peligroso, si se acumulará en el piso o en el techo. Por ejemplo, el gas natural es más ligero que el aire y ascenderá, mientras que el gas Licuado de Petróleo (LP) es más pesado que el aire y se asentará cerca del suelo.

Para medir la densidad de una substancia toma una botella de 1 litro, llénala de agua y pésala, ese será tu valor de referencia de 1, el agua pesa aproximadamente 1 kgf (que en lenguaje coloquial llamamos kilo); el peso total será la del agua más el envase. Ahora llena tu botella con aceite y pésala, llénala de piedras... y calcula la densidad dividiendo lo que pesa entre el volumen, que será un litro.

**Nota:** Puedes hacer tu propia columna de densidades y compararla con la Tabla 1.

### Capas Terrestres



## Encuéntralo en la Naturaleza

La Tierra está compuesta por capas de distinta densidad. La más ligera es, por supuesto, la atmósfera; le sigue la hidrosfera (mares y océanos), y la más densa es la Tierra sólida. Cada una de estas capas también está estratificada por densidad. En la Tierra sólida el material más denso está en el núcleo; le sigue el manto, y la parte menos densa está en la corteza. Observa que hay dos tipos de corteza: la continental y la oceánica.

La cáscara de la Tierra está rota en varias placas rígidas que están en constante movimiento flotando sobre una capa plástica derretida por el calor interno de la Tierra. El choque entre placas ocasiona en sus bordes terremotos y actividad volcánica. Cuando chocan una placa con corteza continental contra una oceánica, la segunda por ser más densa, se hunde bajo la más ligera. Un ejemplo de esto lo tenemos en la costa del Océano Pacífico en el sur de México: la placa de Cocos, que es oceánica, se está hundiendo bajo la placa de Norteamérica, que es continental. El roce de estas dos placas ha estado generando muchos de los sismos que se sienten en el centro y sur de México y también la actividad volcánica en el centro de México. Un ejemplo de placas separándose ocurre en el Golfo de California, donde la península de Baja California se separa de México continental. La península de Baja California se mueve hacia el norte-noroeste a una velocidad de 3 cm por año, es decir, en unos cuantos millones de años Baja California estará enfrente de la costa pacífica de Canadá.



## 2.2 Nada persiste contra el fluir del día

*José Emilio Pacheco*

### Materiales

1 vaso alto

Agua, aceite, miel,  
catsup, mayonesa



### Procedimiento

- 1 Coloca los materiales en el extremo de sobre una tabla.
- 2 Inclina la tabla para que los materiales fluyan sobre la tabla.
- 3 Anota el material que fluyó a mayor y menor velocidad.

### Explícalo

En el experimento 2.1 habrás notado que dentro del agua los materiales ascienden y se hunden a distintas velocidades. Hemos escuchado que la velocidad de caída de un cuerpo en el vacío es independiente de su peso, forma y densidad. Tal vez lo hayas visto cuando en la Luna, que no tiene atmósfera, el astronauta dejó caer un martillo y una pluma y cayeron al mismo tiempo. Sin embargo, en un fluido como el aire o el agua, la velocidad de caída depende del contraste de densidades entre el cuerpo y el fluido, de la forma del objeto y de la viscosidad del fluido.



La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido para moverse. Un fluido denso no necesariamente es más viscoso; por ejemplo, el aceite es menos denso pero más viscoso que el agua.

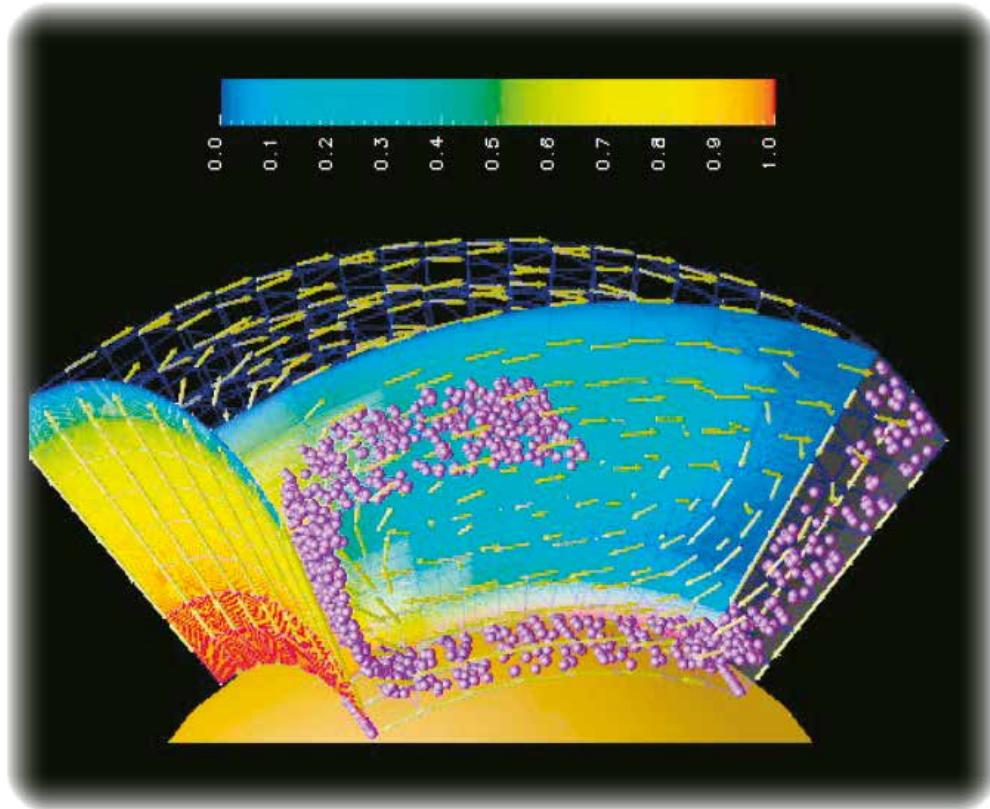
## Aplícalo a tu vida

En nuestra casa podemos encontrar diferentes líquidos que tienen distintas viscosidades, por ejemplo: jabón líquido, la crema, la pasta de dientes, el champú, el gel, la vaselina.

Observa que la velocidad a las que ascienden las burbujas de aire en una botella con champú y en una con agua es muy diferente; el líquido más viscoso no permite el movimiento rápido de las burbujas. O bien, fíjate que cuesta más trabajo sacar los materiales más viscosos de sus botellas: por ejemplo, es mucho más difícil sacar salsa de tomate (catsup) que vinagre.

## Encuéntralo en la Naturaleza

Las placas tectónicas se mueven porque debajo de ellas hay una capa plástica que es más densa pero menos viscosa que las placas.



Modelado de celda conectiva en el manto, obtenido de Computational Geodynamics (autores: Marina y Vlad Manea)

## 2.3 Bajo el agua y sin mojarse

*El aire siempre trata de escapar hacia arriba mientras que el agua fluye hacia abajo.*

### Materiales

1 cubeta o un vaso grande con agua

1 vaso pequeño

1 pedazo de papel



### Procedimiento

**1** Mete el pedazo de papel en el vaso pequeño arrugándolo y apretándolo en el fondo.

**2** Sumerge el vaso (con el papel) boca abajo dentro de la cubeta hasta que quede completamente sumergido en el agua.

**3** Saca el vaso del agua.



### Observa

El papel sale completamente seco.

**Lo que puede fallar:** Si el vaso no entra de manera vertical al agua, el aire podrá salir del vaso y el agua mojará el papel.

El vaso se puede voltear fácilmente si no se sujetta firmemente.



## Explícalo

El aire que está dentro del vaso se sumerge en el agua junto con el papel, intenta salir por arriba pero la base del vaso pequeño se lo impide. El aire se comprime contra el fondo del vaso e impide que el agua suba y moje el papel.

La presión adentro de un líquido actúa con la misma intensidad en todas direcciones; el aire asciende porque, al ser mucho más ligero que el agua, toma el camino hacia donde el tamaño de la columna de agua es menor, es decir, hacia arriba.

El lugar que ocupe un material sólido, líquido o gaseoso dentro de un fluido depende de un balance de fuerzas. Imagina que empujas una pelota al fondo de una alberca. Sabes que la pelota tiene peso porque es atraído a la Tierra, “cae” cuando está fuera del agua; sin embargo, en la alberca podrás sentir que hay una fuerza que la empuja hacia arriba, es la flotabilidad y depende de la diferencia de densidades. Ahora, imagina que la sumerges en aceite de coche; en ese caso, también sube, pero la velocidad de ascenso no será tan rápida como en el agua, debido a que la viscosidad del aceite es mayor y ejerce una fuerza de resistencia al movimiento.

## Aplícalo a tu vida

Las burbujas de aire siempre se moverán hacia arriba.

## Encuéntralo en la Naturaleza

Es fácil imaginar que dentro de la Tierra hay principalmente roca; sin embargo, con el estudio de la velocidad y trayectoria de las ondas generadas con los sismos se han identificado zonas donde la roca está fundida. En la parte superior del manto, entre los 100 km y 200 km de profundidad, la roca está cerca de su punto de fusión; cuando ya está fundida y dentro de la Tierra la llamamos magma, y cuando está fundida y sale a la superficie la llamamos lava. Hemos observado lava saliendo de un volcán, pero también salen gases. La mayoría de los gases que están dentro de la Tierra se encuentran en las cámaras magmáticas y se liberan por 1) la descompresión de un magma (imagina cómo se desgasifica un refresco cuando se destapa), 2) la interacción del magma con un acuífero (imagina roca caliente en contacto con agua), o 3) por reacción entre dos magmas de distinta composición. Las erupciones explosivas, es decir, con muchos gases, son mucho más peligrosas que las erupciones de lava. En México han ocurrido erupciones explosivas en el volcán Chichón, el Nevado de Toluca, el volcán de Fuego en Colima, el Pico de Orizaba y el Popocatépetl.

## 2.4 Cambiando de aire

*El aire pesa poco pero pesa*

### Materiales



- 1 popote
- 3 globos
- Cinta adhesiva
- Hilo

### Procedimiento

- 1 Construye una balanza amarrando un hilo en medio del popote.
- 2 En los extremos del popote cuelga los globos con la cinta adhesiva de tal manera que esté equilibrada tu balanza.
- 3 Cambia uno de los globos desinflados por uno inflado.



### Observa

La balanza se inclina hacia donde está el globo inflado indicando que éste pesa más que el desinflado.

### Explícalo

Aunque los dos globos contienen aire y están sumergidos en el aire, para inflar el globo hay que vencer la resistencia del hule a estirarse. Lo que haces al inflarlo es ir aumentando la cantidad de aire para que su presión logre vencer la resistencia del hule del globo. Por eso la densidad del aire dentro del globo inflado es mayor que la densidad

del aire que está afuera. Como ves, aunque la densidad es una propiedad del material, ésta puede variar. Para los gases, la densidad aumenta con la presión, ya que al comprimirse el gas, aumenta la cantidad de materia por unidad de volumen. Con la temperatura pasa lo contrario: a mayor temperatura las moléculas se separan y hay menos materia por unidad de volumen. Los líquidos son incompresibles, únicamente cambian su densidad con el cambio de la temperatura, mientras que los sólidos con el aumento de presión pueden eliminar los huecos o incluso cambiar su estructura molecular y convertirse en otro cuerpo sólido con otras propiedades; por ejemplo el diamante y el grafito, ambos son compuestos de carbono.

## Aplícalo a tu vida

Tal vez habrás oído que a la gente le da "mal de montaña". Esto sucede porque el cuerpo está acostumbrado a capturar una cierta cantidad de oxígeno en cada inhalación. Cuando sube a una montaña, donde el aire tiene menos cantidad de oxígeno, el cuerpo reacciona de distintas maneras: malestar general, dolor de cabeza, problemas al respirar, etc. Los atletas que entran en las montañas acondicionan su cuerpo para trabajar con poco oxígeno; entonces tendrán oxígeno de sobra cuando compiten en zonas bajas con mayor densidad de aire y su rendimiento aumentará.

## Encuéntralo en la Naturaleza

La densidad del aire de la atmósfera depende de la temperatura y de la presión. La temperatura a nivel del suelo es más alta, ya que los rayos del sol atraviesan el aire transparente y lo que calientan es el suelo y éste el aire; así, la temperatura va decreciendo desde el nivel del mar hacia arriba. La temperatura es de aproximadamente -50 °C a la altura en la que vuelan los aviones. La presión atmosférica en una zona es debida al peso de la columna de aire que soporta. A mayor altura, por ejemplo en las montañas, dicha columna es menor, por lo que el peso es menor y la presión atmosférica también.



## 2.5 Cuando el calor se va

*¿Te has fijado que las llamas siempre se dirigen hacia arriba?*

### Materiales

1 vela

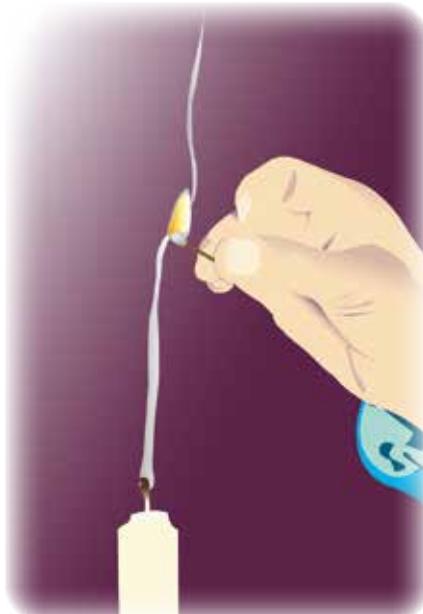
1 cerillo

1 adulto que vigile



### Procedimiento

- 1 Enciende la vela y deja el cerillo prendido arriba de ella.
- 2 Apaga la vela sin apagar el cerillo y deja el cerillo prendido arriba de la vela.



### Observa

La vela se vuelve a prender aunque el cerillo no esté en contacto con ella.

**Lo que puede fallar:** Que el vapor de la cera no alcance la llama del cerillo

## Explícalo

Para que una vela se encienda es necesario que el calor del cerillo derrita la cera, que la cera derretida suba por el pabilo y se evapore; en ese momento, al entrar en contacto con el oxígeno del aire, se enciende el fuego. Cuando un gas se calienta, como el de la cera evaporada, sus moléculas se mueven más rápido y necesitan más espacio entre ellas por lo que la misma cantidad de materia ocupa más volumen y, por lo tanto, se hace menos densa que el aire a temperatura ambiente y asciende. En el experimento, la columna de cera evaporada llega hasta el cerillo y entonces se enciende nuevamente la vela.

## Apícalo a tu vida

Sabiendo que el aire caliente tiende a subir puedes mejorar el microclima de tu casa: cuando hace mucho frío, aísla el cuarto que tenga el techo más alto o el que tenga salida de aire por arriba.

## Encuéntralo en la Naturaleza

El calor puede transmitirse por conducción (como cuando tocas una plancha), por convección (como en el agua que se calienta en una estufa) y por radiación (como en un día soleado).

La convección se hace a través de un fluido en movimiento; puedes visualizar este fenómeno poniendo a hervir agua en una olla (se ve mejor si el fondo es de color claro) con semillas de pimienta negra. La convección es de dos tipos: natural o forzada. La natural es cuando calientas el agua; la forzada es cuando mueves el café con una cuchara. Para que haya transmisión de calor por convección es necesario que haya una variación de temperatura (lo que hace que cambie la densidad del fluido) y que se venza la resistencia del fluido al movimiento. Por un lado existe la caída del fluido más frío (que es más denso y por lo tanto es más atraído por la gravedad) y por otro lado, el más caliente se vuelve más ligero y asciende. Cuando asciende, se expande por estar a menos presión, se enfriá y continúa el ciclo. La convección, junto con la rotación de la Tierra, rige en gran parte el movimiento del aire en la atmósfera, generando las corrientes atmosféricas que controlan el clima.

## 2.6 En el mar, la vida es más liviana

*¿Te has fijado que el peso y la densidad son cosas diferentes?*

### Materiales

3 vasos con agua

2 huevos

2 ligas

Sal



### Procedimiento

- 1 A uno de los vasos añádele sal hasta que no pueda disolverse más.
- 2 Introduce pedazos de las 3 ligas a cada vaso.

### Observa

El huevo y las ligas flotan en el agua salada, mientras que se hunden en el vaso con agua simple.



### Explícalo

La densidad de las ligas y del huevo es un poco mayor que la del agua pura. Cuando al agua se le añade sal, la densidad del líquido aumenta y se vuelve mayor que la del huevo.

**Lo que puede fallar:** La sal que se añadió al agua no fue suficiente como para hacer que la densidad del agua sea mayor que la de las ligas y el huevo.

## Apícalo a tu vida

La densidad del cuerpo humano es un poco menor que la del agua (no es extraño, ya que el cuerpo contiene más del 65 % de agua); es por eso que podemos flotar en una alberca. Tú puedes modificar la densidad de tu cuerpo metiendo o sacando el aire de tus pulmones. Debido a que el agua marina es más densa, puedes flotar más fácilmente en el mar que en una alberca.

## Encuéntralo en la Naturaleza

La densidad del agua de los océanos depende de su temperatura y de la cantidad de sólidos (sales) disueltos en ella. La densidad del agua de mar es entre 1.025 kg/l a 1.028 kg/l (es igual a g/cm<sup>3</sup>) contiene cerca de 3.5 % de sales. En altas latitudes, cerca de los polos, la densidad es mayor que cerca del ecuador.

El agua tiene un comportamiento muy distinto en comparación con otros materiales: cuando baja la temperatura, aumenta su volumen. Sabemos que la densidad del agua cambia con la temperatura, la densidad máxima es a los 4 °C, en los que alcanza su valor característico de 1kg/l a 1atmósfera. Esta característica ha permitido la vida en los lagos de los países fríos: la temperatura del agua del lago disminuye a lo largo del invierno. Cuando llega a 4 °C, al alcanzar su máxima densidad, se hunde. Asciende el agua más caliente y menos densa del fondo. En contacto con el aire se enfriá hasta 4° y vuelve a hundirse. Sólo hasta que toda el agua del lago esté a 4 °C, el agua de la superficie puede disminuir más su temperatura. Cuando llega a 0 °C se congela. Por debajo, el agua sigue líquida y llena de vida. Antes de que toda el agua alcance 0 °C y se congele por completo el lago, acabando con la vida, llega la primavera y con ella comienza el deshielo. La vida acuática del lago se ha preservado gracias a que la densidad del agua es máxima a 4 °C y no a cero.

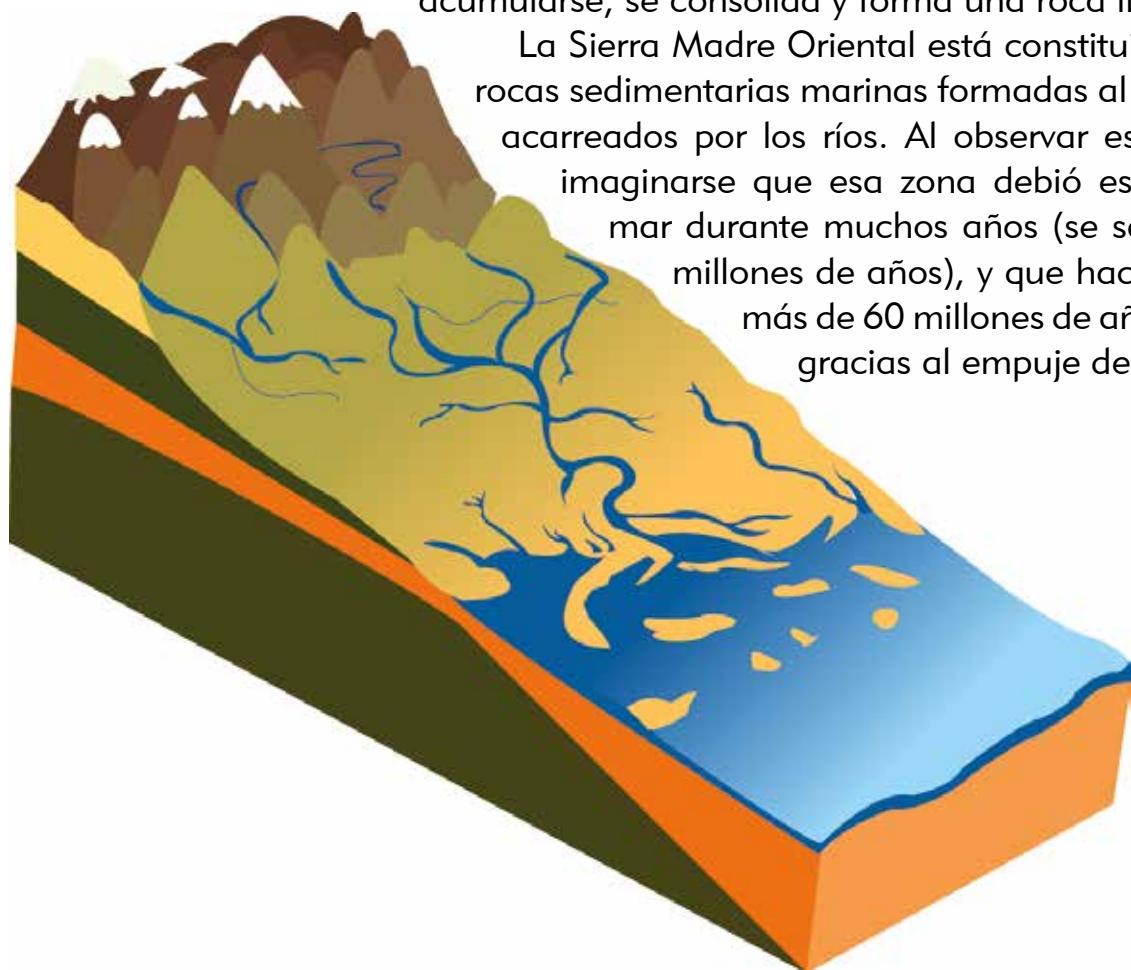
**Nota:** Si metemos un cubo de hielo en una prensa y aumentamos la presión, manteniendo la temperatura constante (de congelamiento), el cubo empieza fundirse, aunque la temperatura del cuarto en donde se lleve a cabo el experimento esté por debajo de 0 °C.

Los océanos tienen gran capacidad de transmitir el calor y por eso tienen un efecto en el clima tan importante como la atmósfera. Gracias a la corriente de California, que baja de Alaska hacia el ecuador, el clima en

Ensenada es mucho más templado que el de Mexicali, no obstante estar ambos casi a la misma latitud y con una altitud cercana al nivel del mar.

Pero enfoquémonos en algo característico del mar: su salinidad. Se dice que el agua de los ríos es "dulce" mientras que la de los mares es "salada". ¿De dónde viene esa diferencia? Cuando el agua de mar se evapora o se congela, lo hace sin las sales. El agua evaporada se precipita como lluvia en el mar y sobre los continentes; parte de esta agua corre por los ríos y parte se infiltra y forma los acuíferos. El agua que corre por los ríos lleva agua dulce y disuelve y acarrea sales (compuestos químicos que se disuelven fácilmente en el agua) de las rocas y suelos en su largo recorrido. La cantidad de sales que lleva el río en su recorrido es muy pequeña, por eso ha requerido millones de años concentrar las sales en el mar hasta hacer su agua salada. El cloruro de sodio (composición química de la sal de mesa) es el principal componente entre los sólidos disueltos en el agua de mar. Entre las sustancias que se disuelven por el paso de los ríos y llegan al mar está el calcio; éste, en contacto con el dióxido de carbono, forma un compuesto que se precipita en el fondo marino; al acumularse, se consolida y forma una roca llamada caliza.

La Sierra Madre Oriental está constituida principalmente por rocas sedimentarias marinas formadas al precipitarse los sólidos acarreados por los ríos. Al observar estas rocas no es difícil imaginarse que esa zona debió estar sumergida bajo el mar durante muchos años (se sabe que cerca de 100 millones de años), y que hace mucho tiempo (algo más de 60 millones de años) salió a la superficie gracias al empuje de las placas tectónicas.



## 2.7 Ahogándose en un vaso de agua

*¿Te has fijado que los barcos flotan aunque sean de hierro?  
¿Te has fijado que el piso continental está sobre el nivel del mar mientras que el piso oceánico está bajo el nivel del mar?*

### Materiales



1 vaso transparente con agua

Monedas

1 marcador

1 vasito vacío

Cinta adhesiva  
(masking tape)

### Procedimiento

**1** Pega un trozo de masking tape de manera vertical en el vaso y marca el nivel del agua.

**2** Mete varias monedas en el vasito y ponlas sobre el agua simulando una pequeña barca. Procura que no sean demasiadas monedas para que flote. Marca el nuevo nivel del agua.

**3** Arroja las monedas al agua y deja el vasito sobre el agua; mide nuevamente el nivel.

**4** Variante: En un vaso con agua añade un hielo y mide el nivel del agua. Espera a que se derrita y vuelve a medirlo.



## Observa

El vasito se va hundiendo a medida que le vas añadiendo las monedas y va subiendo a medida que le quitas monedas.

El nivel del agua es más bajo cuando las monedas están en el fondo que cuando estaban adentro del vasito.

El nivel del agua con el hielo flotando y con el hielo derretido es el mismo.

## Explícalo

El vasito, con las monedas y el aire que las rodea, es más ligero que el agua y flota. Las monedas solas son mucho más densas que el agua y se hunden; el volumen del agua que desplazan es exactamente el mismo que el volumen de las monedas. En el caso de la barca (vasito) con las monedas, puedes observar que el volumen desalojado es mayor. La densidad total de tu barca es menor que la densidad de las monedas solas, ya que además de las monedas, contiene aire. Por eso, con el mismo peso ocupa un mayor volumen.



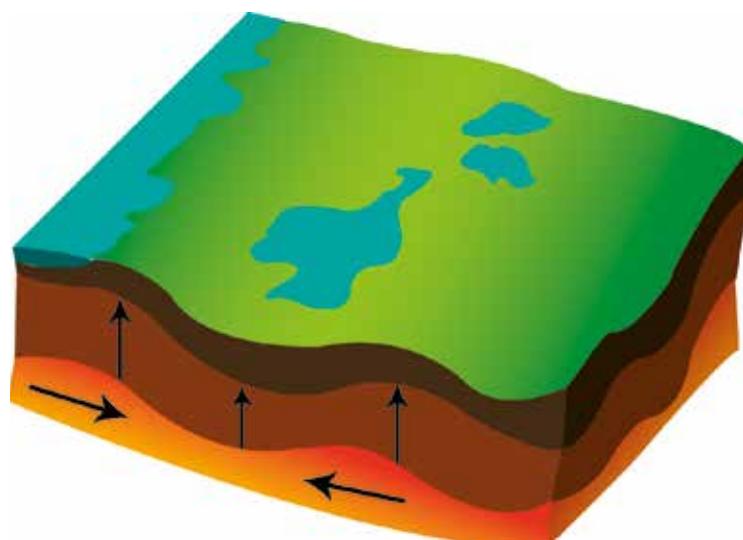
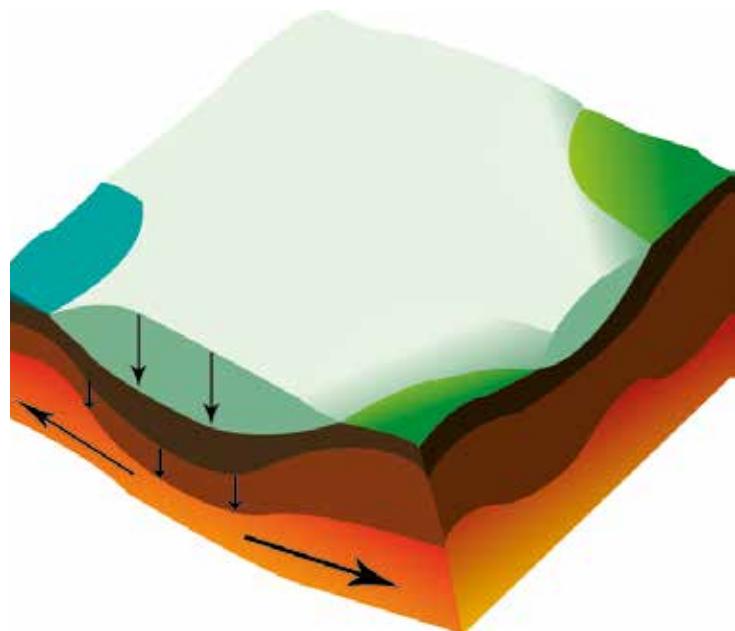
## Aplícalo a tu vida

Los barcos, aunque estén hechos de metal, flotan porque en realidad su densidad total es más baja que la del agua. Considera que la densidad de un barco se obtiene al dividir la cantidad de masa (o el peso) que contiene el barco (incluyendo el casco, los muebles, los trastos, las personas) entre el volumen.

## Encuéntralo en la Naturaleza

Hemos escuchado los problemas que traería el calentamiento global al fundir los casquetes polares. Analicemos esto. En el polo norte el hielo está sobre agua, sobre el océano Ártico; si se derritiera todo el hielo que está sobre el mar, el nivel del mar no variaría, lo comprobaste tú mismo en el experimento. En el polo sur, el hielo está sobre un continente conocido como Antártida; si el hielo se derritiera, no sólo aumentará el aporte de agua a los océanos y subirá el nivel del mar, sino también hará que la Antártida, al liberarse del peso del hielo, ascienda: ¿pero por qué ascendería?

En la península escandinava se ha visto que la línea de costa se ha levantado al menos 30 cm en los últimos 150 años. La explicación que se le ha dado es que, durante la última glaciación, las tierras cercanas a los polos fueron cubiertas por una capa de hielo de varios kilómetros de espesor y ahora que estamos en una etapa interglacial se ha derretido; esto ha hecho que la península haya perdido la capa de hielo y su peso disminuyó. Para que se haya levantado por la disminución de su peso quiere decir que está asentada sobre una capa fluida más densa que la península. Gracias al estudio de la velocidad de las ondas que se generan durante los sismos, sabemos que no sólo esta península está sobre una capa fluida, sino también los continentes y los océanos. Esta capa es conocida como astenosfera y es más densa que la corteza terrestre, pero mucho menos viscosa.



## 2.8 ¿Qué pesa más?

*¿Un kilo de oro o un kilo de plata? y ¿bajo el agua?*

### Materiales



1 gancho o un tubito rígido

1 hilo

2 recipientes grandes con agua.

2 collares de distinto material

(plata, cuentas de vidrio, perlas, conchas, etc.; los puedes elaborar tú) pero que pesen lo mismo. Para lograr esto puedes aumentar o disminuir el número de cuentas.

### Procedimiento

**1** Cuelga en cada extremo del gancho un collar; el gancho te servirá como una balanza de poca precisión. Tiene que estar nivelada.

**2** Coloca los dos recipientes con agua bajo los collares de tal manera que queden suspendidos.



### Observa

La balanza se inclinará hacia el objeto más denso.

### Explícalo

Los objetos bajo el agua disminuyen su peso en una cantidad igual al peso del agua desplazada. De esta manera, si tenemos dos materiales con distinta densidad pero igual peso, el más denso tendrá menos volumen y desplazará menos cantidad de agua y la balanza indicará que bajo el agua pesa



más. Si por ejemplo, ponemos en nuestra balanza casera un collar de 2 g de oro que ocupa muy poco espacio, y del otro lado un collar hecho de cuentas huecas, es fácil imaginar que este último flotará y, por lo tanto, nuestra balanza se inclinará hacia el collar de oro.

## Este experimento en la historia

Cuenta la historia que en Siracusa, Sicilia, en el año 250 a. C., Hierón, gobernador de Siracusa, le pidió a su primo Arquímedes, el sabio del pueblo, que le dijera si su orfebre lo había estafado usando una parte de plata en vez de oro en la corona que le pidió hacer. El rey le había entregado unas monedas de oro y la corona pesaba eso mismo, pero el rey dudaba, ¿cómo probarlo? Arquímedes estaba pensando en el asunto, asumió que parte del oro podía estar sustituido con algo de plata. Un día, cuando entró a la bañera, se le ocurrió que su cuerpo pesaba menos bajo el agua y que el nivel de ésta subía una cantidad igual a su volumen. Siendo el oro tan denso, debería de ocupar poco volumen y el mismo peso de plata ocuparía casi el doble del volumen. No podía medir la diferencia de volumen pero sí el peso del agua desplazada, así que con una balanza parecida a tu gancho, puso de un lado la misma cantidad de oro que la corona debía de tener y, del otro, la corona. Si la balanza quedaba nivelada era de oro; si se inclinaba del lado de las monedas habían estafado al rey. Afortunadamente para el orfebre, la corona era de oro puro y la balanza estuvo equilibrada.

Desde entonces se ha reconocido el Principio de Arquímedes: "Cuando un cuerpo está parcial o totalmente sumergido en el fluido que le rodea, una fuerza de empuje actúa sobre el cuerpo. Dicha fuerza tiene dirección hacia arriba y su magnitud es igual al peso del fluido que ha sido desalojado por el cuerpo".

Con esto Arquímedes demostró que un kilo de oro y de plata no pesan lo mismo bajo el agua: bajo el agua ese oro pesará 0.948 kilos\* mientras que la plata pesará 0.9047 kilos.

Nota: \*En nuestro lenguaje cotidiano al peso lo medimos en "kilos" y está dado por el número que marca la báscula. En lenguaje técnico, el peso debe estar en unidades de fuerza (kgf: kilogramo fuerza o gf:gramo fuerza).

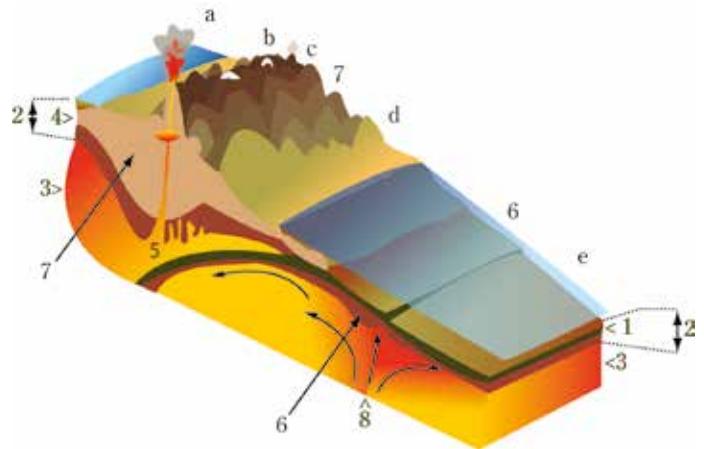
## Encuéntralo en la Naturaleza

### Capas de la Tierra

La Tierra sólida se ha dividido en capas de dos maneras. Por composición: corteza, manto, núcleo; y por comportamiento mecánico: litósfera (incluye corteza y parte del manto superior), astenosfera (manto superior), manto inferior, núcleo líquido, núcleo sólido. La segunda clasificación ha sido muy útil para explicar las observacio-

nes de los movimientos de placas rígidas (litósfera) sobre una capa "fluida" (astenosfера).

La corteza oceánica está formada por material del manto que sale a la superficie, mientras que la continental también está formada por rocas del manto pero que han sufrido varios procesos geológicos como vulcanismo, intrusión, metamorfismo, erosión, consolidación de partículas, etc. Estos procesos han hecho que las rocas de la corteza continental sean más ligeras. Así, la corteza continental es menos densa que la oceánica y su espesor (entre 35 km y 45 km) es mucho más grande. El hecho de que la corteza oceánica esté hundida en promedio 3800 metros bajo el nivel del mar, y que la corteza continental esté emergida en promedio 850 metros sobre este nivel, se ha explicado por un fenómeno conocido como isostasia, basado en el principio de Arquímedes.



- 1\_Corteza Océanica
- 2\_Litósfera
- 3\_Astenósfera
- 4\_Corteza Continental
- 5\_Zona de generación de magma
- 6\_Placa de Cocos
- 7\_Placa Norteamericana
- 8\_Zona de generación de corteza oceánica
- a\_Golfo de México
- b\_Sierra Madre Oriental
- c\_Faja Volcánica Transmexicana
- d\_Sierra Madre del Sur
- e\_Océano Pacífico

## Calor interno de la Tierra

Sabemos que cada sustancia tiene una temperatura a la cual cambia de estado, de sólido a líquido y de líquido a gas (aunque hay algunos materiales raros que se transforman directamente de sólido a gas, como la naftalina), y que ese valor depende de la presión: a mayor presión, necesita más temperatura para cambiar de estado. El ejemplo más conocido es que el agua hiere a mayor temperatura a nivel del mar que en la ciudad de México. Por eso en Puerto Vallarta (a nivel del mar) las sopas y el café son más calientes que en Toluca (2680 metros sobre el nivel del mar).

En el interior de la Tierra pasa algo semejante. La corteza terrestre está bastante más caliente de lo que la calienta el sol, esto lo sabemos por la temperatura que hay dentro de las minas profundas, por las fumarolas, las aguas termales y la roca fundida que sale de los volcanes. La temperatura adentro de la corteza se incrementa a razón de un promedio de 30 °C cada kilómetro de profundidad; adentro de una mina la temperatura puede alcanzar los 50 °C. La presión también aumenta al ser directamente proporcional con la profundidad. El calor exterior de la Tierra proviene de la radiación solar y el calor interior es debido a varias causas. En sus orígenes,

el calor de la Tierra se incrementó por la acreción del material que flotaba en el espacio; posteriormente, por el impacto de grandes meteoritos, y actualmente se genera calor por la descomposición de isótopos radiactivos. Si bien el enfriamiento de la Tierra al contacto con el frío sideral es inevitable, dentro de ella también hay transferencia de calor hacia su superficie, lo cual ocurre por conducción, pero principalmente por convección.

### **Efectos del calor interno en la Tierra**

En la astenosfera, la roca ya no se comporta como un sólido sino como un fluido de alta viscosidad y alta densidad; esto es debido a las presiones y temperaturas a las que se encuentra. La viscosidad de la astenosfera es muy alta (aunque mucho menos que la de la corteza), de tal manera que permite el movimiento, pero en períodos de tiempo de miles o millones de años. La isostasia es el estado de equilibrio gravitacional en el cual la litósfera está flotando sobre la astenosfera, de acuerdo con el principio de Arquímedes. Cuando se incrementa el peso en el continente por acumulación de sedimentos o hielo, la litósfera se hunde, y si disminuye el peso, por deshielo o erosión, la litósfera se eleva.

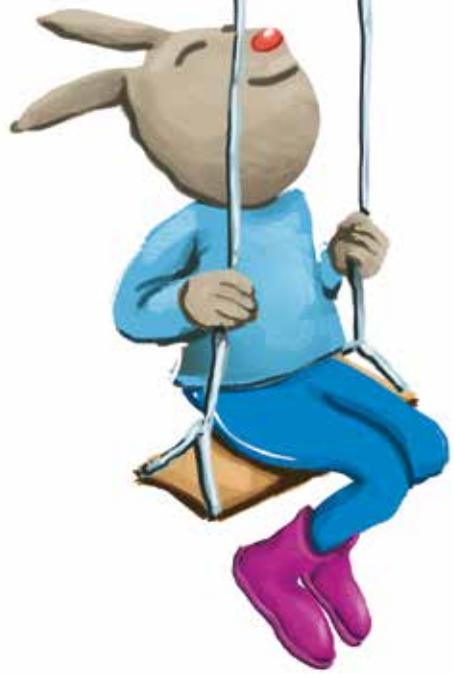
La litósfera está constituida por una serie de placas rígidas. La astenosfera, como la atmósfera y la hidrosfera, permite la transmisión del calor a través de un "fluido", generando corrientes de convección; debido a la alta viscosidad del material de la astenosfera, el movimiento es muy lento, de algunos centímetros por año. Este movimiento de convección en la astenosfera explica muchos fenómenos de la tectónica de placas. En México, el movimiento hacia el noreste de la placa de Cocos, localizada en la costa suroeste, la hace hundirse bajo la placa de Norteamérica en un proceso conocido como subducción. En el Golfo de California, una corriente ascendente y un debilitamiento de la litósfera permiten la salida del manto en forma de magma, generando corteza oceánica nueva y la expansión del fondo oceánico bajo el Golfo de California. Más al norte de la península de Baja California hay un movimiento lateral entre dos placas a lo largo de la falla de San Andrés.

Arquímedes, con su descubrimiento en la bañera, ha ayudado a explicar numerosos fenómenos que ocurren en la Tierra, como el clima (vientos y corrientes marinas), el ascenso magmático (vulcanismo) y la tectónica de placas (convección térmica en la astenosfera), entre otros.



# **El clima pendiendo de un hilo**

**Susana A. Alaniz Álvarez  
Ángel F. Nieto Samaniego  
Miguel de Icaza Herrera**



En este capítulo encontrarás experimentos que están relacionados con el clima, todos ellos los podrás hacer en tu casa con materiales sencillos y fáciles de adquirir. Te invitamos a que los hagas con cuidado y que observes cómo la madre Naturaleza los hace también.

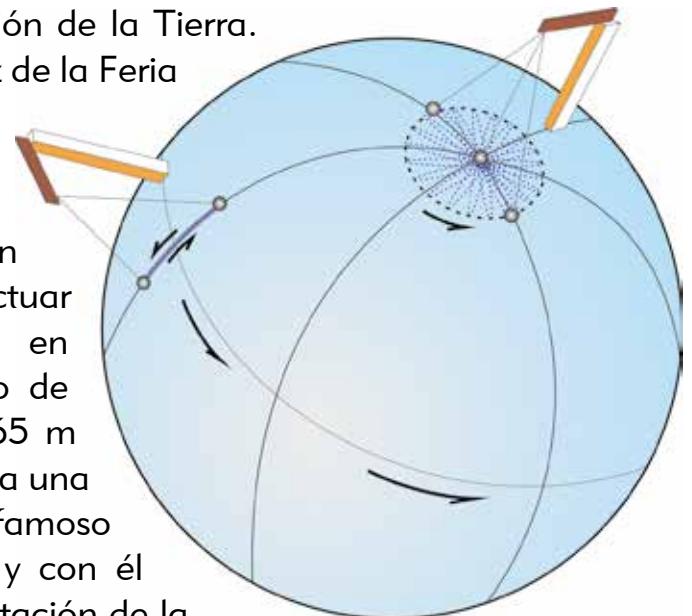
En los noticieros mencionan que el estado del tiempo está determinado por varios factores: la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la presión atmosférica. Con esta información nos dirán si el día será soleado, lluvioso o con tormentas. El estado del tiempo cambia día con día y el estudio de los factores locales se utiliza para hacer pronósticos. El clima, en cambio, son las condiciones atmosféricas que caracterizan una región, es decir predominan a lo largo del año. Ejemplos de climas son: tropical, subtropical, templado, desértico y polar. El clima está controlado principalmente por el sol, y por la gravedad, rotación y traslación de la Tierra. No obstante que el clima es un fenómeno muy complejo, con estos sencillos experimentos podrás entender algunos de los fundamentos básicos que lo gobiernan. El personaje de este capítulo es Jean Bernard León Foucault, que elegimos porque encontró una manera muy ingeniosa para demostrar la rotación de la Tierra sin tener que mirar los astros, y, como veremos, la rotación juega un papel fundamental en el clima de una región.



## Jean Bernard León Foucault

Nació en París, Francia en 1819 y murió en 1868. Aprovechó la popularidad que había tomado la ciencia en la Francia del siglo XIX para mostrar su genio experimental: introdujo la fotografía en la Astronomía en 1845, midió la velocidad de la luz utilizando un sistema de espejos giratorios y demostró experimentalmente que la luz viaja más lentamente en el agua que en el aire en 1850, concibió el telescopio moderno en 1851 y en 1852 inventó el giroscopio (un disco circular que gira sobre un eje, algo así como un trompo o una rueda de bicicleta) para demostrar la rotación de la Tierra.

Saltó a la fama internacional a raíz de la Feria Mundial de París en 1851, cuando mostró al mundo el péndulo que hoy lleva su nombre. Un péndulo es un cuerpo que cuelga de un hilo con el cual se pueden efectuar movimientos de vaivén siempre en una misma dirección. El péndulo de Foucault tenía un poco más de 65 m de longitud y el cuerpo colgante era una bala de cañón. Lo montó en el famoso *Panthéon* de la capital francesa y con él demostró experimentalmente la rotación de la Tierra al mostrar que el vaivén del péndulo daba una vuelta completa en cierto tiempo. Como la dirección del vaivén del péndulo no cambia, entonces al registrar una vuelta completa indicaba que lo que giraba era el piso! Así, concibió la idea de que un péndulo puede demostrar la rotación de la Tierra sin tener que observar los astros: el trazo que va dejando el péndulo en uno de los polos de la Tierra daría una vuelta completa en un día, mientras en el ecuador se mantendría siempre en la misma posición.





## 3.1 Para medir el tiempo me basta un hilo y un tornillo

*Medición del tiempo con un péndulo*

### Materiales

1 tuerca, 1 tornillo o cualquier objeto pesado que puedas sujetar con un hilo.



Hilos de varios tamaños: 10 cm, 30 cm, 100 cm, 200 cm.



Reloj o cronómetro.



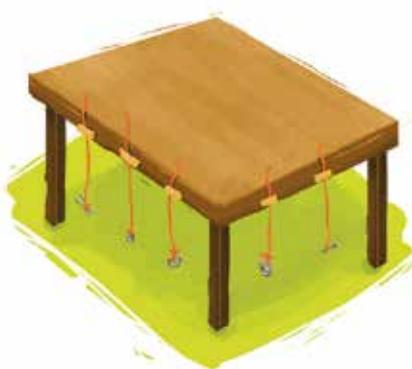
### Procedimiento



**1** Construye varios péndulos sujetando un objeto (tuerca) con cierto peso en un extremo de cada hilo.

**2** Cuélgalos de una barra horizontal (por ejemplo un barandal o una mesa).

**3** Acciona un péndulo a la vez y cuenta el tiempo que tarda en ir y venir (o sea su vaivén), anota el resultado en esta tabla. Haz lo mismo con péndulos de distinto largo de hilo, con distinto peso y con distinta amplitud del vaivén.



Peso: 2 tuercas Longitud del hilo: 100 cm		Peso: 2 tuercas Amplitud del vaivén: 40 cm		Longitud del hilo: 100 cm Amplitud del vaivén: 40 cm	
Amplitud vaivén	Tiempo	Longitud hilo	Tiempo	Peso	Tiempo
20 cm		10 cm		1 tuerca	
40 cm		30 cm		2 tuercas	
60 cm		100 cm		3 tuercas	
80 cm		200 cm		4 tuercas	

## Observa

Para cada péndulo, el tiempo de recorrido de su vaivén es el mismo sin importar que la distancia recorrida por la tuerca sea mucha o poca. Con una longitud de hilo de 50 cm, el péndulo recorre cada vaivén en un segundo y medio aproximadamente. También notarás que con el paso del tiempo el péndulo se detiene, esto es por la resistencia del aire que va frenando poco a poco el movimiento del péndulo.

El experimento lucirá mejor cuanto más largo y ligero sea el hilo, más pesado el peso y menor la amplitud de las oscilaciones.

Con pesos distintos notarás que, si el largo del péndulo es el mismo, el tiempo de recorrido del vaivén no cambiará.

Cuando el tamaño del hilo es grande notarás que la trayectoria del péndulo no es una recta exactamente, es más bien una elipse, es decir parecida a un círculo aplastado.



## Apícalo a tu vida

Un péndulo es muy útil para medir el tiempo, y sin duda su principal utilidad es para construir relojes. Nota que el peso del péndulo de los relojes viejos es plano para disminuir la resistencia del aire.

El péndulo más divertido es el columpio. Un péndulo sin movimiento es una plomada y sirve para indicar la vertical.

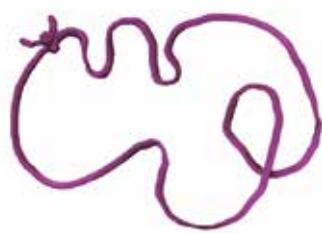
## 3.2 Hagamos una elipse

### Materiales



2 clavos

(pueden ser chinchetas, ramas, palitos, lápices...)



1 hilo

1 cuaderno, tierra o arena



1 lápiz

### Procedimiento

- 1** Clava en el cuaderno las dos chinchetas.
- 2** Amarra entre sí los dos extremos del hilo.
- 3** Coloca el lápiz adentro del hilo y forma un triángulo entre el lápiz, y las chinchetas. Procurando que el hilo esté tenso, gira y dibuja la elipse.



## Observa

Si la distancia entre los clavos (técnicamente conocidos como focos) es muy grande, la elipse estará muy alargada, llegando en el caso extremo a ser una línea recta; en cambio, si la distancia entre los clavos es muy pequeña el trazo será casi de un círculo. Una forma de caracterizar a la elipse es mediante la relación entre su largo y su ancho. Si estas dos distancias son parecidas la elipse se parecerá más a un círculo, si son muy distintas, será más parecida a una recta.

## Encuéntralo en la Naturaleza

La trayectoria que sigue la Tierra alrededor del Sol es de una elipse, sin embargo es casi como un círculo, por eso esta trayectoria no es la causa de la variación del clima en las estaciones. Observa que cuando la Tierra está más alejada del Sol es verano e invierno y cuando está más cercana es primavera y otoño; también puedes notar que cuando en el hemisferio norte es verano en el hemisferio sur es invierno.



### 3.3 "...Y sin embargo se mueve"

#### Materiales



Cinta adhesiva (masking tape)

1 ventana



1 noche estrellada



#### Procedimiento

**1** En una noche estrellada asómate a la ventana de tu cuarto y marca en el vidrio, con un pedazo de masking tape, la posición de al menos tres estrellas.



**2** Cada media hora aproximadamente (por ejemplo entre programas de televisión), desde exactamente el mismo lugar, vuelve a marcar la posición de las mismas estrellas.

**3** Hazlo al menos cuatro veces para completar dos horas.

**Nota:** Siendo el Sol una estrella también puedes hacer este experimento durante el día.

#### Observa

Las estrellas parecen moverse y lo que tú haces es marcar su trayectoria. Nota que algunas recorren más distancia que otras. Si la noche siguiente, a la misma hora y en el mismo lugar, vuelves a revisar

las marcas que dejaste, observarás que cubren a las mismas estrellas de la noche anterior. Esto se debe a que la Tierra tarda 23 horas y 56 minutos en dar una vuelta completa sobre su eje de rotación.

## Explícalo

Lo que se mueve eres tú, o más bien la Tierra bajo tus pies, por la rotación de la Tierra. La Tierra se mueve 40 000 km (diámetro aprox. de la Tierra en el ecuador) en 24 h (en un día), es decir a una velocidad cercana a 1600 km/h. Las estrellas más lejanas se mueven más lentamente que los planetas y la Luna, que están más cercanos a nosotros; pero en este experimento las diferentes distancias marcadas en la ventana no dependen de la distancia a las estrellas, sino de su posición con respecto del Norte. Si marcaras en la ventana la estrella polar, ésta no se moverá.

## Apícalo a tu vida

Cuando vas avanzando en un coche o camión en la carretera, los árboles cercanos pasan rápido y los más alejados menos rápido.



## 3.4 “El paraíso lo prefiero por el clima, el infierno por la compañía”

Mark Twain

### Materiales

1 día de sol

Camisas de varios colores incluyendo una negra y otra blanca

### Procedimiento

- 1 Ponte una camisa negra y ponte al rayo del sol cinco minutos.
- 2 Ponte la camisa blanca y regresa al rayo del sol otros cinco minutos.

### Observa

Con la camisa negra se siente más calor que con la blanca.

### Explícalo

El calor se transmite por radiación, conducción y convección. En la conducción el calor se transmite por el contacto (por ejemplo tocando una olla caliente), en la

convección se transmite a través de un fluido en movimiento (el vapor que sale de la olla con agua hirviendo) y por radiación a través de movimiento de ondas sin que intervenga un fluido en movimiento (al aproximarte a cualquier fuego sientes inmediatamente el calor). En este experimento intervienen los tres mecanismos: los rayos solares emiten luz y calor, el calor viaja por radiación atravesando la capa de aire de la atmósfera, cuando los rayos tocan la superficie la calientan y el aire que toca la superficie caliente se calienta por conducción, cuando el aire se calienta se expande y asciende por convección.



Los rayos solares se ponen en contacto con la camisa negra, el color negro absorbe casi todos los rayos y se calienta, mientras que la camisa blanca refleja casi todos los rayos.

## Aplícalo a tu vida



Los carros negros se calientan más que los de color claro. A medida que el carro se queda más tiempo expuesto al sol, más se calentará el aire en su interior. El aire caliente dentro del carro subirá y no podrá salir por el techo. A esta concentración de aire caliente se le conoce como efecto invernadero.

En temporada de calor extremo puedes mejorar el clima de tu carro dejando un poco abierta la ventana. Mantén fresca tu recámara no dejando que entre el sol para que no se caliente el aire, puedes hacerlo manteniendo cerradas las cortinas.

## Encuéntralo en la Naturaleza

El estado del tiempo de una región depende, entre otras cosas, del tiempo de exposición a los rayos solares durante el día. En verano los días son más largos que en el invierno, mientras más dure el día más tiempo iluminará el sol y más se calentará el aire.

Como vimos con materiales de distinto color, hay colores que atrapan más radiación que otros, los oscuros más que los claros. Al porcentaje de radiación que reflejan los materiales, es decir la que no absorben, se le llama albedo (ver Tabla). Si consideramos que el aire se calienta al estar en contacto con el suelo, y viendo que las nubes reflejan gran parte de los rayos solares, entonces entendemos por qué en los días nublados hace mucho menos calor que en los días despejados. Los polos cubiertos de nieve casi no se calientan porque casi todos los rayos se reflejan y porque allí los rayos llegan muy inclinados. En los últimos años se ha derretido una parte importante del casquete polar del norte, los científicos están preocupados ya que esto indica que está subiendo la temperatura global de la Tierra. La Tierra puede absorber mayor cantidad de calor al convertirse la nieve en agua, ya que el albedo del agua es menor que el de la nieve.

	Albedo
<b>Nieve reciente</b>	<b>86 %</b>
<b>Nubes muy brillantes</b>	<b>78 %</b>
<b>Nubes (promedio)</b>	<b>50 %</b>
<b>Desiertos terrestres</b>	<b>21 %</b>
<b>Suelo terrestre sin vegetación</b>	<b>13 %</b>
<b>Bosques (promedio)</b>	<b>8 %</b>
<b>Ceniza volcánica</b>	<b>7 %</b>
<b>Océanos</b>	<b>5 % a 10%</b>

## 3.5 Persiguiendo tu propia sombra

### Materiales



1 foco incandescente de 60 watts



1 socket con extensión



1 hoja de cartoncillo (un folder) y cinta adhesiva



1 barra de chocolate

**Nota:** Cuidado con la corriente eléctrica y con el foco caliente

### Procedimiento

- 1** Enrolla la hoja de cartoncillo y pégala para hacer una pantalla.
- 2** Coloca la pantalla sobre el foco para concentrar la luz de manera perpendicular a la mesa, de tal forma que el haz (el conjunto de rayos luminosos) sea un círculo, cuida que ilumine el chocolate. Asegúrate que la barra de chocolate no haga sombra.
- 3** Despues de un minuto y medio retira la pantalla y toca la barra de chocolate.
- 4** Espera a que el foco se enfrie. Inclina la pantalla para que la luz dé de forma diagonal a la mesa, procurando que sea a la misma distancia que la vez anterior y que ilumine otra barra de chocolate. Verás que ahora la zona iluminada forma una elipse y que la barra tiene sombra. Despues de un minuto toca la barra de chocolate.



## Observa

Cuando el haz de luz es circular la temperatura de la mesa es mayor que cuando el haz es una elipse.

La sombra de la barra de chocolate será mayor mientras más inclinado esté el rayo de luz.

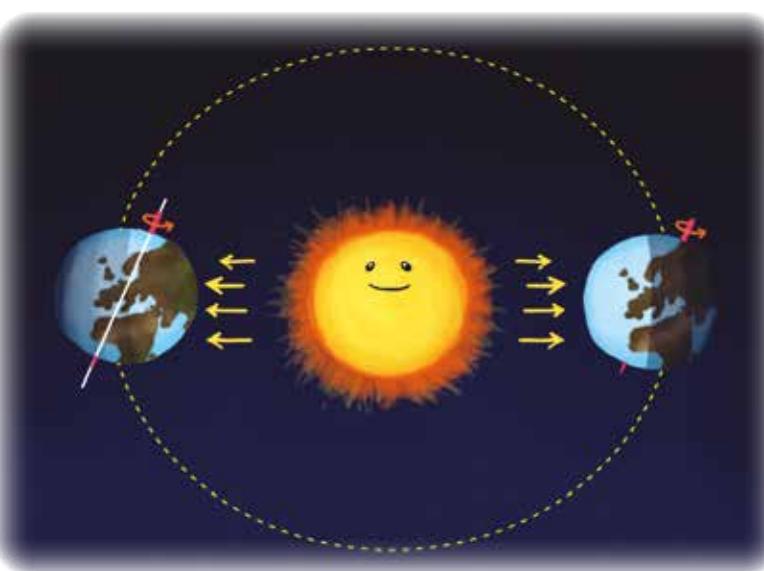


## Explícalo

La radiación que sale del foco, al igual que la del sol, viene en forma de luz y de calor. La pantalla hace que la luz se concentre, y cuando ésta ocupa menos espacio concentra el calor calentando más la zona iluminada. Cuando la misma cantidad de luz se dispersa, la zona iluminada se calentará menos.

El chocolate, como casi todos los materiales, se funde (se hace líquido) con el calor. La temperatura de fusión del chocolate está entre 31 °C y 33 °C, por eso con el calor de la mano o con el foco de 60 watts, el chocolate sólido se vuelve líquido.

## Encuéntalo en la Naturaleza



La Tierra gira alrededor de un eje que está inclinado 23.5° con respecto al plano por donde gira alrededor del Sol. Cuando los rayos del sol dan directamente sobre nuestra cabeza, la sombra es casi nula, mientras más inclinados estén los rayos más sombra habrá. Durante el día nuestra sombra cambia, y también durante las estaciones. A mediodía es cuando los rayos caen más directamente sobre nosotros. Durante el invierno podrás notar cuánto se inclina la Tierra sobre su eje observando que tu sombra se hará más larga. Mientras más lejos estés del

ecuador más inclinados llegarán los rayos del sol durante el invierno. Mientras más inclinados lleguen los rayos menos calentarán y más largas serán las sombras. La inclinación del eje de rotación es la causa de que existan las estaciones.

## 3.6 ¿Cuánta energía se requiere para cambiar la temperatura?

### Materiales



6 vasos de plástico

Agua, tierra, monedas



### Procedimiento



- 1 Llena dos vasos con agua, dos con tierra y dos con monedas.
- 2 Mete al refrigerador tres vasos con distinto contenido.
- 3 Pon al sol los otros tres vasos.
- 4 A los diez minutos saca los tres vasos del refrigerador y tócalos con la frente, compáralos para saber cuál es el más frío.
- 5 Despues revisa los tres vasos que pusiste al sol y compara su temperatura.



### Observa

Cuando sacas los vasos del refrigerador podrás percibir que los vasos que contienen las monedas y la tierra están más fríos que el que contiene agua. Cuando midas la temperatura de la tierra, las monedas y del agua después de haberlos dejado 10 minutos al sol intenso podrás ver que las monedas estarán más calientes que la tierra y que ésta estará más caliente que el agua.



## Explícalo

El agua, el aire y la tierra tienen distintos valores de capacidad calorífica, siendo ésta una medida de cuánta energía se necesita para cambiar de temperatura un material. El agua necesita cuatro veces más energía que el aire o la tierra, por eso el vaso que tiene agua se enfriá más lentamente. Lo mismo pasa cuando los pones al sol, la energía que viene del sol, que es la misma para todos, calienta más rápido las monedas y la tierra que el agua.



## Aplícalo a tu vida

Se sabe que todos los objetos tienden a tener la misma temperatura, esto quiere decir que si pasa un tiempo considerable sin exponer los objetos a una fuente de calor tenderán a tener todos ellos la temperatura ambiente. El tiempo que tardan en adquirir esta temperatura depende de su calor específico y de la cantidad del material.

El hombre, como los mamíferos y aves, regulan su temperatura. Los animales de sangre caliente utilizamos la mayor parte de la energía que consumimos en mantenernos a una temperatura constante (aproximadamente 36.5 °C), mientras que la temperatura ambiente casi siempre es mucho menor. Los reptiles, de sangre fría, dependen del calor ambiental para aumentar su temperatura, por eso cuando el día está soleado se mueven rápidamente mientras que en la noche, cuando la temperatura ambiental es menor, se mantienen inmóviles.

El cuerpo humano, al igual que la Tierra, tiene un elevado porcentaje de agua y puede regular su temperatura fácilmente gracias a su alta capacidad calorífica.



## ¿Cómo afecta el clima?

Aunque el océano absorbe casi todo el calor proveniente del sol (tiene un bajo albedo), su temperatura casi no cambia por su gran capacidad calorífica y por su gran volumen de agua. Si el planeta no estuviera cubierto por agua en un 75 %, las noches serían muy frías. Los lugares cercanos a un lago o un océano tienen un clima mucho más agradable que los desiertos, dónde los cambios de temperatura son muy extremos entre el día y la noche.

## 3.7 El motor de los mares

### Materiales



Colorante vegetal (o papel de china rojo y azul para usar como colorante)



Agua caliente

Hielo



1 frasco pequeño

1 tuerca

1 recipiente transparente grande

### Procedimiento

Haz unos cubos de hielo azules añadiendo colorante al agua antes de meterla al congelador. Por otro lado calienta agua y ponle unas gotas de colorante rojo. Coloca el agua caliente y una tuerca en el frasquito, sumérgelo destapado en un recipiente transparente grande que contenga agua, pon el hielo de color azul también en el mismo recipiente.



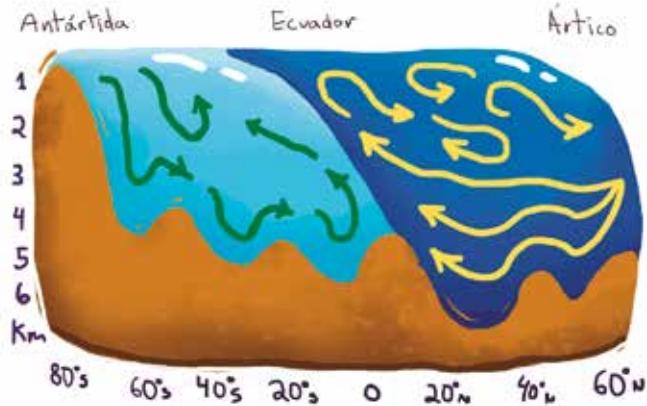
### Observa

El agua caliente roja dentro del frasco sube mientras que el agua fría azul del hielo derretido se sumerge.

## Explícalo

El agua cuando se calienta se expande, así ocupa más espacio con la misma cantidad de agua (es decir se hace menos densa) y asciende. Curiosamente el hielo flota en el agua por lo mismo, ya que cuando se congela se expande y se vuelve menos denso que el agua misma. Cuando el hielo se derrite el agua sigue estando fría y es más densa que el agua que la rodea por lo que se sumerge.

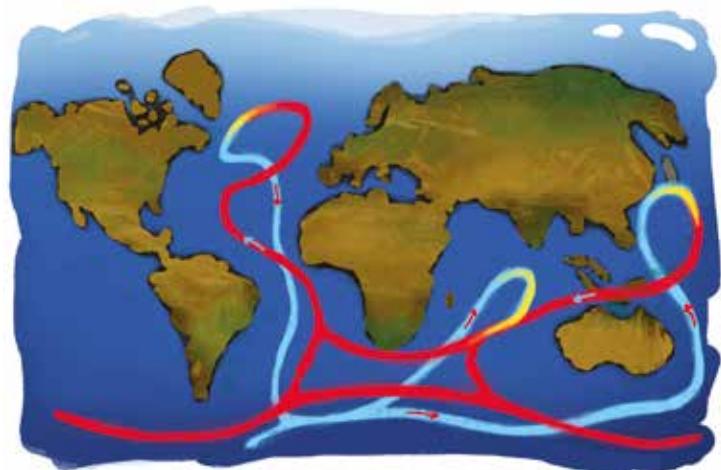
La mayor densidad del agua se da a  $4^{\circ}\text{C}$ , cuando aumenta o disminuye su temperatura el agua se expande y es menos densa.



## Encuéntralo en la Naturaleza

Siempre que se juntan dos fluidos (sean gas o líquido) con distinta temperatura, y por lo tanto distinta densidad, habrá movimiento. El papel que juega la convección (cuando se transmite el calor por el movimiento de un fluido) en el clima es muy importante. Por convección se generan los vientos y las corrientes oceánicas.

El movimiento de las aguas oceánicas a nivel global se da, en parte, por el ascenso de aguas calientes y el descenso de aguas frías, trasladando así grandes cantidades de calor. El Gran Transportador Oceánico es la principal corriente oceánica; observa en la figura que las aguas calientes (en rojo) que vienen del ecuador y los trópicos viajan hacia el Atlántico Norte, esto permite que una corriente oceánica cálida se ponga en contacto con la Europa occidental. Esto explica que países que están a la misma latitud tengan distinto clima, así Inglaterra es menos fría que Canadá oriental, y Rusia más fría que Escocia.



## 3.8 La densidad como motor del viento

### Materiales



1 lámpara

Talco, harina, polvo o tela de un material muy fino



### Procedimiento

- 1** Prende la lámpara durante la noche.
- 2** Ya que esté caliente el foco de la lámpara coloca la tela sobre la pantalla o bien, esparce arriba del foco el talco (o cualquier otro material fino que flote en el aire).



### Observa

El talco asciende junto con el aire que sale de la lámpara.



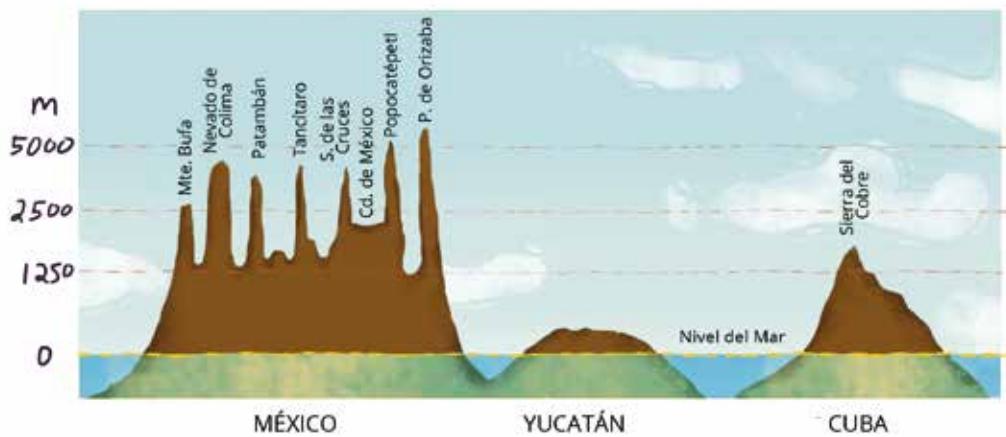
### Explícalo

La radiación que sale del foco, al igual que la del sol, viene en forma de luz y de calor. La pantalla hace que la luz se concentre, y cuando ésta ocupa menos espacio concentra el calor calentando más la zona iluminada. Cuando la misma cantidad de luz se dispersa, la zona iluminada se calentará menos.

## ¿Cómo la densidad afecta el clima?

El efecto del calentamiento del sol empieza cuando sus rayos tocan la superficie de la Tierra, calentando algunos lugares más que otros (por efecto del albedo mencionado anteriormente y por la inclinación de los rayos solares). El aire es más caliente a nivel del mar y por eso asciende, conforme va subiendo la presión atmosférica va siendo menor y las moléculas de aire pueden separarse, al separarse el aire se enfriá.

En la atmósfera de la Tierra la temperatura va disminuyendo aproximadamente  $6.5^{\circ}\text{C}$  por cada mil metros. Es por esto que los volcanes y las sierras más altos tienen nieve en su cima aunque se encuentren en una zona caliente como el ecuador (por ejemplo el volcán Cotopaxi) o bien en una zona tropical (por ejemplo el Pico de Orizaba y el Nevado de Colima). Esto también explica que la Ciudad de México esté a una temperatura agradable, alrededor de  $22^{\circ}\text{C}$ , mientras que el Popocatépetl, que está a un costado, tenga la cima nevada



## 3.9 El efecto Coriolis

Possiblemente has escuchado que al vaciar el agua de un lavabo en el hemisferio norte el agua gira en el sentido de las manecillas del reloj, mientras que cuando se hace en el hemisferio sur ocurre lo contrario. Se dice que esto es debido al efecto Coriolis. Antes que nada hay aclarar que es falso, porque la rotación no puede afectar masas tan pequeñas de agua, pero este mito ha permitido la popularización del efecto Coriolis.

El efecto Coriolis explica la desviación de la trayectoria de un cuerpo que se mueve sobre una superficie que gira. Como la Tierra tiene en su superficie aire y agua, la trayectoria del movimiento de estos fluidos se ve alterada por la rotación de la Tierra y se ha utilizado este efecto para explicar las direcciones de vientos y corrientes marinas. Para entender cómo funciona el efecto Coriolis experimentalo primero.

### Materiales



1 disco giratorio, puede ser un carrusel o una hoja de papel que puedes girar con la mano.



1 pelota o un lápiz.



### Procedimiento

Rueda la pelota sobre el carrusel mientras éste está girando, primero hazlo del centro del carrusel hacia afuera y después de afuera hacia el centro. Haz girar el carrusel en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Otra forma de hacer este experimento es tomando una hoja de papel y pídele a alguien que dibuje una línea recta al mismo tiempo que tú giras la hoja. Prueba primero dibujando la línea de afuera hacia el centro y después del centro hacia fuera.



## Observa

Si aventamos la pelota (o dibujamos la línea) desde afuera hacia el centro, o desde el centro hacia afuera, las trayectorias serán curvadas en el sentido de las manecillas del reloj.

## Variaciones

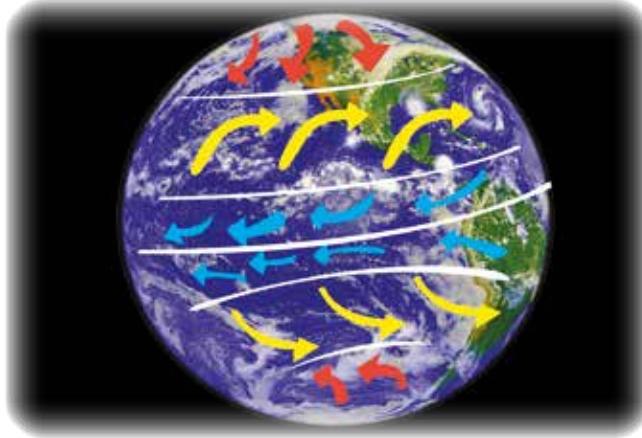
Si hacemos girar el disco en dirección en el sentido de las manecillas del reloj, las trayectorias serán en sentido contrario.

## ¿Cómo actúa el efecto Coriolis en la Tierra?

Nosotros giramos junto con la Tierra cuando estamos parados, pero los fluidos (aire y agua) se desplazan con distinta velocidad que la Tierra sólida.

En el ecuador los vientos y corrientes marinas se desplazan hacia el poniente. En el hemisferio norte los vientos predominantes que viajan hacia el Norte tienen una desviación hacia el Noreste, mientras que los que viajan hacia el sur se desvían hacia el Suroeste. Así, debido a la rotación de la Tierra, las corrientes y los vientos se mueven en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y al contrario en el hemisferio sur.

Si observas una imagen de satélite de la Tierra verás que los ciclones en el hemisferio norte giran en sentido contrario a las manecillas del reloj. Una manera de explicar esto es que siendo el ciclón una zona de baja presión tiende a atraer el aire de alrededor, el cual, por el efecto Coriolis se estaría moviendo en el sentido las manecillas del reloj en el hemisferio norte. Esto produce que la zona del centro, o sea la zona del ciclón, gire en sentido contrario como se ve en la Figura. Lo mismo pasa cuando golpeas un disco giratorio con un movimiento de tu mano hacia la derecha y el disco se mueve en sentido contrario.



# Conversación sobre el Péndulo de Foucault

*Miguel de Icaza Herrera*

La siguiente conversación entre los niños Julia, José y Juan sucede en las instalaciones del Centro Educativo y Cultural Manuel Gómez Morín del Estado de Querétaro. Allí se encuentra instalado el más hermoso Péndulo de Foucault de México. Los niños hacen referencia a los talleres del proyecto Sophie del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México en el que se da a conocer la ciencia a los niños. Todos los niños son bienvenidos, sobre todo en verano.

**Juan.** Yo no entendí. Sí está muy bonita la bola. Creo que podría verla durante mucho tiempo sin aburrirme, pero no entendí la explicación que nos dio Ulises.

**José.** Primero nos explicó cómo fabricar una plomada. Nos dijo que sólo necesitábamos amarrar un hilo a una piedrita

y colgar el hilo de algún clavito.

**Juan.** ¿Eso quién no lo entiende? Pero luego dijo Ulises que había que esperar hasta que ya no se movera. No entiendo cómo va a moverse sola. ¡Es una piedra! ¡No está viva!



**José.** Sí, él explicó que tan pronto se cuelga la plomada del clavito, ésta se queda moviendo,

pero que cada vez se mueve menos. Si nos esperamos hasta que deje de moverse, el hilo muestra la dirección del centro de la Tierra.

**Juan.** ¿Y eso qué tiene que ver con los albañiles?

**José.** Pues, ¿qué estabas haciendo? ¡Él nos explicó que se utiliza para que las casas queden derechas y no chuecas.

**Julia.** A mí me ha parecido mucho más interesante lo que dijo de la rotación de la Tierra. Y yo, realmente, me puse a ver el péndulo de Querétaro, grandote, y, viéndolo girar lentamente, hasta tenía yo la impresión de sentir que giraba la Tierra.

**Juan.** Eso sí realmente no supe ni de qué estaba hablando.

**José.** Tú tienes la culpa: yo vi que te pusiste a sacar chocolates y, por estar

tapándote, para que no te viera, ni ponías atención. Oye Julia, ¿Y tú sí entendiste? ¡Hasta parecía que estaba hablando de los planetas!

**Julia.** ¿Cuáles planetas? ¡Tú has de haber ido a ver la Guerra de las Galaxias!

**José.** Sí, acuérdate que hablaba de la órbita de la lenteja.

**Juan.** ¿Qué es eso de la lenteja?

**José.** Así se le llama a la piedrita o lo que se cuelgue del hilo para conformar el péndulo.

**Julia.** Ulises le da el nombre de órbita al camino que sigue la lenteja, que en todo momento está sujetada por el hilo.

**Juan.** Empezando por eso. ¿Cuál camino? Yo sólo veía la dichosa lenteja yendo de un lado a otro.

**José.** Pues realmente no veo cómo explicarte. Un burro parado debe tener ideas más claras.

**Julia.** Mira, tú has visto algunos aviones que van pintando el cielo con humo. Estas marcas las van dejando por donde

van pasando y muestran el camino por donde va pasando el avión.

**Juan.** Pues yo no he visto el humo que va dejando la lenteja.

**José.** (A punto de perder el control) Con o sin humo, el camino es simplemente por dónde va pasando la lenteja.

**Julia.** Acuérdense que Ulises nos mostró cómo la lenteja podía moverse en elipses.

**Juan.** ¿En quéeee?

**Julia.** Sí, son esos como círculos aplastados. Acuérdate que la semana pasada estuvimos jugando a la geometría.

**José.** ¿Son esos que construimos con un hilo y dos clavitos?.

**Julia.** ¡Esos meros! ¡Acuérdate que nos pasamos toda la tarde dibujando círculos aplastados!

**José.** ¡Eso sí estaba bien divertido! ¡Todo lo que teníamos que hacer era clavar dos clavitos y amarrar en ellos el hilo, y luego



dibujar con un lápiz, cuidando que el hilo esté estirado.

**Julia.** Esa parte era muy importante: Siempre era el mismo hilo pero los clavitos se colocaban a diferentes distancias entre ellos. Y cuando los clavos estaban muy juntos, obteníamos algo que parecía un círculo, mientras que cuando los clavos estaban muy separados, se obtenía una figura larga que llaman elipse, y esta figura se podía ir adelgazando más y más, colocando cada vez más separados los dos clavitos, de manera que al final la figura casi parecía una raya.

**José.** En eso no me había fijado. ¿Estás segura?

**Julia.** Ulises nos dijo que la lenteja se movía normalmente de manera que su órbita era una elipse, y que esta órbita podía, poniendo cuidado, convertirse en un movimiento rectilíneo.

**Juan.** recti... ¿recti qué?

**José.** Se dice 'rectilíneo' cuando se quiere decir 'en línea recta'

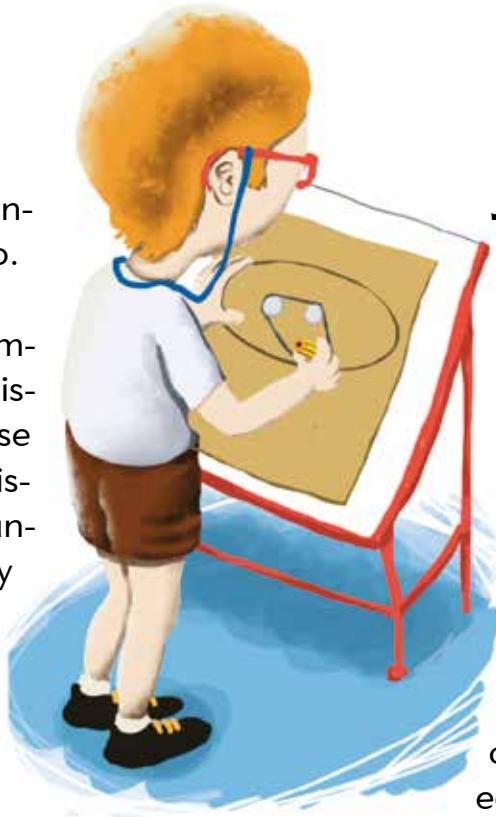


Figura 1. Cómo trazar una elipse con dos clavos, un hilo y un lápiz.

**Juan.** Ah... a todo esto, ¡qué bonita está la pelotota!

**Julia.** Es mucho más bonita su sensibilidad al tenue, muy tenue movimiento de rotación de la Tierra. Tan tenue que no lo sentimos.

**José.** Yo me acuerdo que nos dibujó la Tierra, que nos indicó cuál era el ecuador y cuál el eje de la Tierra. Y después eligió un punto del perímetro de ese círculo y nos dijo que ese

punto representaba Querétaro. Sin embargo, la regla no recuerdo cuál era.

**Julia.** Piensen bien. Hagan memoria. Acuérdense que trazamos un triángulo.

**José.** ¡Tienes razón! Sí, juntamos con una raya el centro de la Tierra con el punto que representa Querétaro! ¿Y luego? ¡Ya se me olvidó! ¿qué sigue?

**Julia.** Nada más para que no se les olvide, les recuerdo que esa rayita se llama radio.

**Juan.** De esto sí me acuerdo, porque fue cuando se resbaló Ulises. Tomó la regla

y trazó por el punto que representa Querétaro una raya vertical, hasta cortar el ecuador y le puso la letra  $h$ .

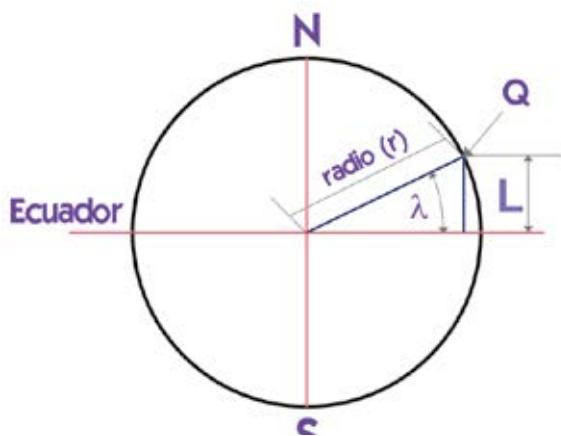


Figura 2: Posición de Querétaro en el círculo de la Tierra. El ángulo  $\lambda$  es lo que se conoce como latitud.

Esta figura está trazada a escala: el lector puede utilizarla para medir en ella el radio  $r$  y la altura  $L$  y comprobar por sí mismo el resultado.

**Julia.** Bueno, tienes razón, pero lo que hizo fue trazar una recta paralela al eje de rotación de la Tierra, y la extendió hasta el punto donde corta el ecuador.

**Juan.** ¿Y todos estos triángulos, para qué?

**Julia.** Mira Juan, ¿Cómo que todos estos triángulos? ¡Sólo hay uno!

**Juan.** Bueno, está bien, ¿Y este triángulo, para qué?

**José.** Sí, yo tampoco entendí eso.

**Julia.** Es que en ese triángulo está el secreto. Todo lo que tenemos que hacer es medir las... las rayas, como les dice Juan, la que une Querétaro con el centro de la Tierra, es decir, el radio del círculo que podemos representar mediante la letra  $r$ , y la de la paralela por Querétaro que hemos señalado con la  $L$ , que no es sino la altura de Querétaro sobre el ecuador.

**Juan.** ¡Ya me imagino lo que cuesta la cinta métrica para hacer esas medidas. Mi papá tuvo que comprar una especial de 25 m para medir la casa y ya le salió algo cara!

**Julia.** ¡No! ¡No hace falta una cinta de 6300 km de largo! ¡Se puede utilizar un dibujo realizado a escala!, ya que lo que nos interesa es el cociente del radio  $r$  a la altura  $L$ , es decir,  $r/L$ . Yo me acuerdo que la división, que hicimos entre todos, dio...

**Juan.** Sí, dio 2.8. Pero, eso, ¿qué?

**Julia.** Bueno, pues lo anterior es la regla para calcular el tiempo que tarda el péndulo en dar un giro completo. ¿No recuerdan cuándo es correcta?

**José.** Sí me acuerdo que lo dijo, pero no qué dijo.

**Julia.** Es muy sencillo: La regla es aplicable al caso en que la lenteja se mueve a lo largo de una elipse muy muy delgada, tan delgada que parece o semeja una recta.

**José.** Ah... , a eso te referías hace rato, cuando mencionaste el movimiento rectilíneo, ¿verdad?

**Julia.** Bueno, resulta que la línea a lo largo de la cual se mueve la lenteja, es decir, la órbita, no está fija, sino que va girando, muy lentamente, en el sentido de las manecillas del reloj.

**José.** ¿O sea que la lenteja no se mantiene yendo y viniendo por el mismo camino, sino que ese camino va dando vuelta?

**Julia.** ¡Exacto! Y, el tiempo que tarda ese camino en dar una vuelta entera es dos punto ocho.

**Juan.** ¿Dos punto ocho qué?

**Julia.** Dos punto ocho días, es decir, casi tres días. Como un día tiene 24 horas, acuérdense que multiplicamos  $24\text{ h} \times 2.8$  y obtuvimos 67.2 h.

**José.** ¿Eso significa que la lenteja hace ese giro, en respuesta a la rotación de la Tierra, en poco más de 67 h?

**Julia.** ¡Precisamente! Aquí, francamente no entiendo por qué no le preguntas a Ulises y sí me preguntas a mí. ¡Acuérdate que sólo aprendemos cuando preguntamos!

**José.** Ya me acuerdo. Luego Ulises nos dijo que ese mismo resultado se presenta de otra forma en los libros. Nos explicó que los adultos prefieren hablar de velocidad de rotación de la Tierra y de la velocidad de rotación de la órbita.

**Juan.** Ahora sí parece que estamos oyendo, no a Ulises, sino al profesor Chiflado.

**Julia.** ¿Por qué te parece así?

**Juan.** Porque José usa palabras raras. ¿No dijo velocidad de rotación de la Tierra?

**Julia.** Bueno, sí, pero cómo quieras que la llame. La regla que nos mencionó Ulises conecta dos velocidades, una es la de la rotación de la Tierra, y la otra, la velocidad de rotación de la órbita de la lenteja.

**Juan.** De todas maneras, yo no sé cuál sea



esa velocidad de rotación de la Tierra, y si no se ésa, tampoco la otra.

**José.** ¡Falso! Tú sí lo sabes y lo sabe todo mundo.

**Juan.** ¿Cómo que todo mundo?

**José.** Bueno, lo sabe todo mundo pero es indispensable ponerse a pensar un momento. Y allí está posiblemente tu dificultad.

**Juan.** ¿Qué insinúas? ¡Te equivocas! yo no conozco la velocidad de la Tierra!

**José.** Mejor te lo digo, y tú me dices si lo sabes o no. La velocidad de la Tierra es una vuelta por día. ¡Ya! ¡Eso es todo!

**Juan.** Pues sí, francamente hay que reconocer que sí lo sabía.



**Julia.** Dicho de otro modo, la velocidad de rotación es el número uno, y como debemos multiplicarlo por el tamaño  $L$  de la línea paralela y dividirlo entre el radio  $r$ , entonces la velocidad de rotación de la órbita de la lenteja vale simplemente el cociente  $L/r$ .

**José.** Ulises nos explicó que el ángulo entre el ecuador y la recta que une el centro de la Tierra con Querétaro lleva el nombre de latitud de Querétaro,  $\lambda$  en la Figura 2. Nos dijo que nos iba a enseñar a encontrar la estrella Polar y a medir la latitud de Querétaro.

**Juan.** Sí, y también nos dijo que la semana entrante íbamos a jugar a la trigonometría y que después de eso íbamos a entender por qué la velocidad de rotación de la órbita de la lenteja se dice que es igual al seno de la latitud donde se encuentra instalado el péndulo.



**Julia.** Miren, ya llegaron mis papás a recogerme. ¡Nos vemos!

# **La Medición de la Tierra**

**Mariano Cerca**

**Dora Carreón Freyre**



Desde su origen, la humanidad ha tratado de entender la Tierra, cuál es su composición, forma y cómo se mueve. El desarrollo de sistemas de medición ha sido fundamental para satisfacer estas inquietudes y, en algunas ocasiones, tales mediciones se han hecho de manera ingeniosa y creativa. Medir consiste en encontrar la proporción existente entre un objeto y una unidad de medida. Por ejemplo, utilizamos una regla para medir longitudes. Pero en ocasiones no es posible aplicar la unidad de medida de forma directa, y cuando esto sucede, se pueden medir algunas dimensiones para calcular indirectamente otras que queremos obtener.

¿Te imaginas lo difícil que sería medir la distancia entre tu casa y la escuela con una regla? ¿la distancia a la Luna? ¿o la altura de un edificio o montaña? En esta ocasión te queremos contar uno de los experimentos más ingeniosos que se han hecho para medir de manera indirecta la circunferencia de la Tierra. También te mostraremos algunas mediciones de propiedades interesantes de nuestro planeta, las cuales se hacen dentro de disciplinas como la Geografía, Geología, Geofísica y Mecánica de Suelos.



Eratóstenes de Cirene

# Eratóstenes de Cirene

Eratóstenes fue un sabio griego que estuvo a cargo de la Biblioteca de Alejandría a mediados del siglo tercero antes de nuestro tiempo, es decir, hace 2249 años. Además de Astronomía estudió otras disciplinas como Geografía, Filosofía y Poesía. Se dice que era muy inteligente, por lo que sus contemporáneos le llamaban Beta, β, la segunda letra del alfabeto griego, iera el segundo mejor en todo lo que hacía!

A Eratóstenes se le atribuye la invención de la esfera armilar: un instrumento formado por anillos metálicos que giran con diferentes velocidades alrededor de un centro común. En el tiempo de Eratóstenes se pensaba que la Tierra estaba en el centro de un sistema de esferas, en las que se encontraban el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas fijas. La esfera armilar permitía calcular con buena exactitud el movimiento de los astros como se observa desde la Tierra.

También se atribuye a Eratóstenes la invención de un sencillo tamizador numérico que permite obtener los números primos. Este aparato se puede reproducir fácilmente en el salón de clases o en casa, de la siguiente manera: sobre el pizarrón se dibuja una tabla que contiene los números en orden ascendente, empezando desde 2, y se borran todos los múltiplos de cada número exceptuando el número base. De esta manera, los números que quedan en la tabla son todos primos.



	<b>2</b>	<b>3</b>	4	<b>5</b>	6	<b>7</b>	8	9	10
<b>11</b>	12	<b>13</b>	14	15	16	<b>17</b>	18	<b>19</b>	20
21	22	<b>23</b>	24	25	26	27	28	<b>29</b>	30
<b>31</b>	32	33	34	35	36	<b>37</b>	38	39	40
<b>41</b>	42	<b>43</b>	44	45	46	<b>47</b>	48	49	50
51	52	<b>53</b>	54	55	56	57	58	<b>59</b>	60
<b>61</b>	62	63	64	65	66	<b>67</b>	68	69	70
<b>71</b>	72	<b>73</b>	74	75	76	77	78	<b>79</b>	80
81	82	<b>83</b>	84	85	86	87	88	<b>89</b>	90
91	92	93	94	95	96	<b>97</b>	98	99	100

"Sobre la medición de la Tierra" es el título de la obra de Eratóstenes donde se describe un gran logro de la imaginación y de la creatividad científica, que ha sentado algunas bases para los métodos científicos modernos de la Geografía. El contenido de su obra lo sabemos por las citas de autores clásicos, puesto que lo escrito por él no sobrevivió hasta la actualidad.

Es interesante mencionar que Eratóstenes no fue el único hombre en preguntarse cuál era la circunferencia de la Tierra, otro experimento con una metodología muy similar, aunque menos conocido, fue llevado a cabo por Yi Xing hace unos 1300 años, ¡1000 años después de la medición de Eratóstenes! Este sabio envió 13 equipos de medición a diferentes ciudades de China para que midieran la sombra que producía una vara de bambú en el verano y en invierno, y logró calcular con gran precisión la longitud de un segmento del arco meridiano.

En la actualidad, la medición directa o indirecta de muchas de las características de la Tierra se llevan a cabo dentro de disciplinas como la Geodesia, la Geografía, la Geología y la Geofísica.

En este capítulo empezaremos el **Experimento 4.1** por ubicar el tiempo en el antiguo Egipto y los problemas a los que se enfrentó Eratóstenes para medir los ángulos solares y las distancias entre ciudades. Para el experimento de medición del meridiano de la Tierra se utilizarán dos obeliscos. En el **Experimento 4.2** medirás los ángulos que producen sus sombras, seguidos de algunos sencillos trazos geométricos.

Vamos a hacer un mapa y a repasar sus características principales en el **Experimento 4.3**. En el **Experimento 4.4** repasaremos cómo se forman algunas montañas terrestres. Para medir distancias, vamos a utilizar la velocidad de propagación de una onda en el **Experimento 4.5**. Los **Experimentos 4.6a, b y c** tienen que ver con la medición de las propiedades del suelo. En el **Experimento 4.7** vamos a descubrir cómo se puede medir la resistencia de un suelo y una roca.



## Las primeras mediciones

Cuando el experimento de Eratóstenes fue ideado y llevado a cabo, hace más de 2200 años, no había instrumentos precisos para conocer las distancias entre ciudades, por lo que su resultado es sorprendente. Eratóstenes aprovechó que tenía a su cargo la Biblioteca de Alejandría, la más importante de su tiempo, para consultar los mapas del mundo conocido y planos de división de terrenos agrícolas en Egipto, y entendió que la superficie de la esfera terrestre se puede dividir con una red de líneas que pasan por puntos conocidos.

El resultado del experimento de Eratóstenes fue la medición del meridiano terrestre. Pero ¿qué es un meridiano? Es la circunferencia de la Tierra que pasa por los polos; mientras que un paralelo es el círculo en la superficie de la Tierra que define un plano perpendicular al eje de rotación. La importancia de este experimento radica en la manera de cómo se logró calcular la circunferencia de la Tierra por medio de la medición de los ángulos con que llegan los rayos del sol, y de ahí

surge la posibilidad de aplicarlo para medir distancias entre diferentes puntos sobre la superficie de la Tierra, y la distancia entre la Tierra y el Sol o la Luna.

La siguiente carta es ficción pero nos permite pensar algunos de los problemas que enfrentó Eratóstenes en el siglo III antes de nuestra era para obtener su estimación de la circunferencia de la Tierra. Sabemos que escribía cartas a su amigo Ptolomeo Evergetes sobre temas interesantes de estudio, y que sentía una gran curiosidad por conocer cómo funcionan los fenómenos terrestres.



Siena (en la actualidad Aswan, Egipto), Junio 21

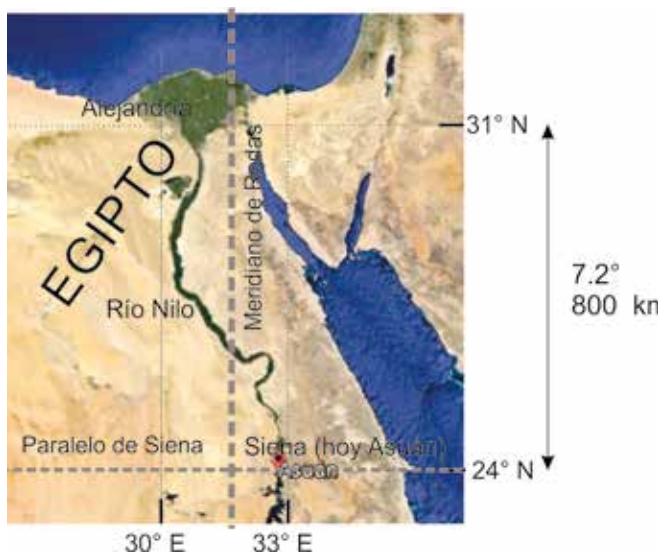
Estimado amigo Ptolomeo Evergetes:

Te escribo desde mi habitación en Siena desde donde observo las palmeras moviéndose lentamente con el viento, un poco de calma en estos meses de intenso viaje. Los hombres que conforman el pequeño regimiento de soldados que has enviado para medir con paso constante la distancia entre nuestra querida Alejandría y esta ciudad han sido de gran ayuda. Hemos calculado una distancia de 5000 estadios\* entre las dos ciudades. Espero con impaciencia regresar a Alejandría y medir con mi nuevo gnomón\*\* la diferencia de ángulos en el próximo solsticio. Efectivamente, la diferencia entre los ángulos sólo puede explicarse si la Tierra es una esfera y el sol se encuentra tan lejano que sus rayos llegan paralelos a la superficie de la Tierra.

Tu amigo  
Eratóstenes

\* Un estadio egipcio equivale aproximadamente a 160 metros.

\*\* Un gnomón es un objeto alargado generalmente de forma triangular con medidas precisas que sirve para proyectar sombras producidas por los rayos del sol.



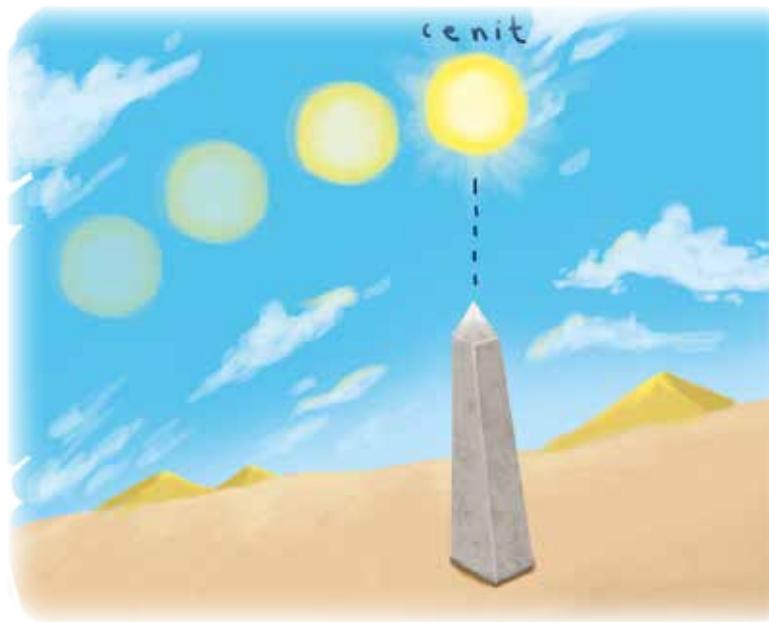
Mapa de meridianos y paralelos en los tiempos de Eratóstenes. Para calcular la circunferencia de la Tierra, Eratóstenes supuso que Alejandría y Asuán se encontraban en el mismo meridiano, aunque ahora sabemos que se encuentran a una distancia de  $3^\circ$  al oeste.

Los griegos sabían desde los tiempos de Parménides, en el siglo V antes de nuestra era, que la forma de la Tierra es parecida a una esfera, y que el Sol se encuentra a una distancia tan grande que sus rayos de luz llegan de manera paralela a esta.

Los griegos también habían descubierto que existe un ángulo entre la trayectoria del Sol y el ecuador. Cada mediodía exacto existe un lugar sobre la Tierra en el cual no se producen sombras porque el Sol pasa exactamente en el cenit.

Como el eje de rotación de la Tierra está inclinado, si unes todos los puntos en donde no se producen sombras a mediodía, se define una trayectoria o desplazamiento del Sol sobre la superficie de la Tierra que se llama Eclíptica. La Eclíptica intersecta al ecuador en dos puntos a lo largo del año, estos días se llaman equinoccios. Durante los equinoccios, el día y la noche duran aproximadamente lo mismo (12 horas). En el hemisferio norte de la Tierra, el punto más al norte en que pasa la Eclíptica se llama solsticio de verano, mientras que el punto más al sur se denomina solsticio de invierno.

¿Qué tiene que ver todo esto con Eratóstenes? Pues resulta que fue precisamente él quien calculó en aproximadamente  $24^\circ$  el ángulo que forma la eclíptica con respecto al ecuador. Eratóstenes sabía que Asuán, que se encuentra en la latitud del trópico de Cáncer, coincidía con la Eclíptica en el solsticio de verano, y podemos ahora añadir que por esta razón no se producen sombras en ese lugar.



De regreso en Alejandría, en el mediodía solar del solsticio de verano, Eratóstenes midió con gran cuidado la sombra de un obelisco de altura conocida, y obtuvo un ángulo  $\alpha$  de  $7.2^\circ$ . Entonces, Eratóstenes comprendió que sus observaciones sólo se podían explicar si la Tierra no es plana.

Eratóstenes utilizó el “estadio” egipcio como unidad de medición de longitud, que en el antiguo Egipto corres-

pondía a 160 metros. En la actualidad, utilizamos unidades fundamentales de medición definidas con gran precisión. En el Sistema Internacional de Unidades (**SI**) se han definido siete unidades físicas fundamentales.

Aquí sólo utilizaremos las tres primeras que tienen que ver con las mediciones de los experimentos, y que puedes observar en la tabla. El ángulo es una unidad complementaria del **SI**.

Magnitud física	Unidad de medición	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd
Intensidad de corriente eléctrica	Ampere	A



## 4.1 La medición de la circunferencia de la Tierra

Para explicar el logro de medir la Tierra, vamos a reproducir en miniatura el experimento que Eratóstenes llevó a cabo hace dos mil años.

### Materiales



2 obeliscos de altura conocida

1 cartulina o una pelota grande

1 regla

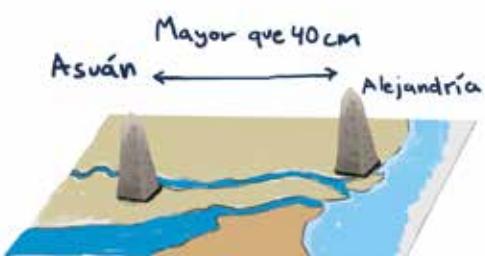
Pegamento o cinta adhesiva de doble cara



Media hora de sol cercana al mediodía

### Procedimiento

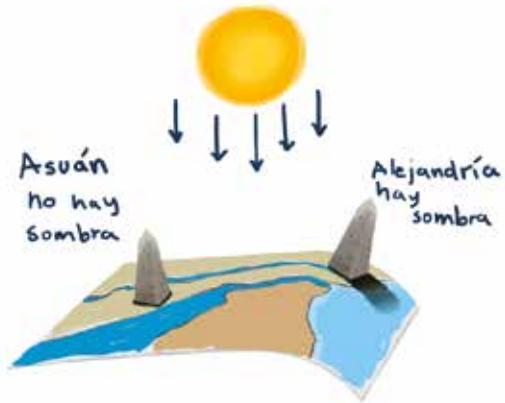
**1** Tenemos que armar los obeliscos y pegarlos a una distancia entre ellos de 40 cm en la cartulina. Para mayor realismo se puede imprimir o fotocopiar un mapa de Egipto, agrandarlo y poner los obeliscos en las localizaciones de Asuán y Alejandría. Asegúrate de que los obeliscos se mantengan firmes sobre la cartulina.



**2** Una vez que hemos armado nuestra miniatura terrestre podemos salir a un lugar soleado. Coloca la cartulina sobre un piso plano o mesa y observa las sombras que se forman. Inclina la cartulina de manera que no se formen sombras en los obeliscos.

Ahora tenemos que doblar la cartulina un poco para simular la curvatura de la Tierra y encontrar el ángulo adecuado para que no se forme una sombra en Asuán.

**3** El tamaño de la sombra que se produce en Alejandría depende de la curvatura de la Tierra. Para verificar esta hipótesis, puedes variar la curvatura de la cartulina para producir una sombra de mayor o menor tamaño en Alejandría sin producir una sombra en Asuán.

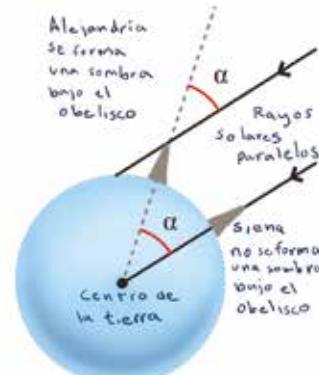


**4** La sombra depende también de la distancia entre las ciudades. Para verificar esta idea puedes pedir ayuda a un compañero o adulto. Mientras mantienes una curvatura constante, cuidando siempre que no se forme una sombra en Asuán, pide a tu ayudante que despegue el segundo obelisco y lo coloque más cerca o más lejos.

## Explícalo

El siguiente dibujo permite explicar el cálculo de la circunferencia de la Tierra. En Asuán los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie y por eso no forman una sombra. En Alejandría la traza de los rayos llega oblicua a la superficie curva de la Tierra.

Si se traza una línea perpendicular a la superficie en Alejandría de manera que intercepte los rayos paralelos, se observa que el ángulo de  $7.2^\circ$  observado en Alejandría es igual a la diferencia de latitud entre las dos ciudades (ver mapa de meridianos y paralelos). La circunferencia de la Tierra tiene  $360^\circ$  y como la distancia entre las dos ciudades es 5000 estadios, el problema se resuelve simplemente dividiendo 360 entre 7.2 y multiplicando el resultado por 5000. El resultado es 250 000 estadios o 40 000 km. ¡Nada mal para su tiempo!



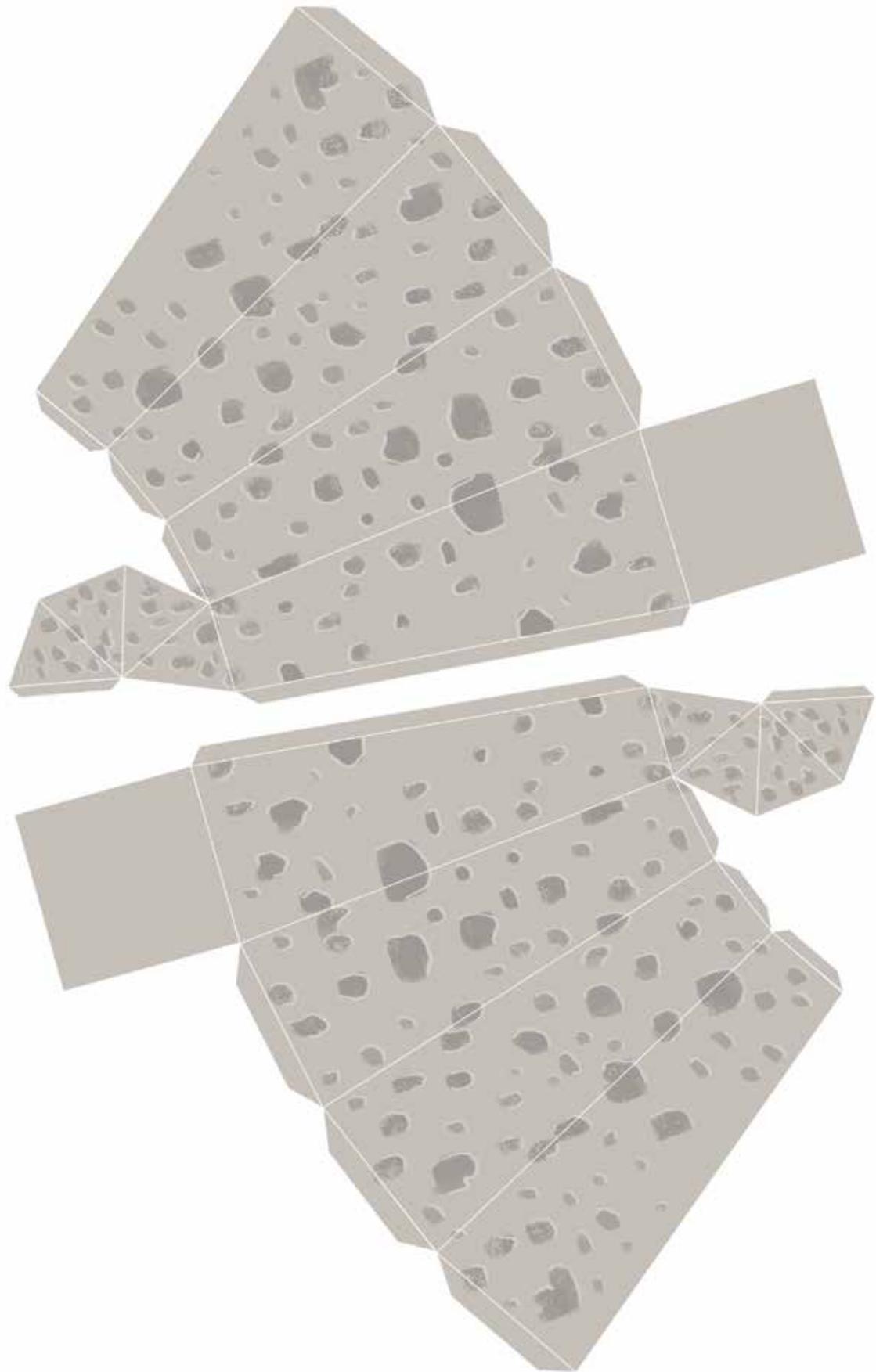
La circunferencia de la Tierra tiene  $360^\circ$

El ángulo  $\alpha = 7.2^\circ$  cabe 50 veces en una circunferencia

La distancia entre las dos ciudades equivale a 5000 estadios

La longitud de la circunferencia es  $50 \times 5000 = 250\,000$  estadios

1 estadio = 160 m, entonces la circunferencia de la Tierra mide 40 000 km







## Dos retos para los más avanzados

### **Reto 1. Aplica el método de Eratóstenes para medir un balón**

**1** Toma una pelota grande (al menos del tamaño de un balón de fútbol) y pega los obeliscos sobre ella a una distancia conocida.

**2** Sal al mediodía y haz que uno de los obeliscos no produzca sombra.

**3** Mide la longitud de la sombra del segundo obelisco y calcula la circunferencia de la pelota.



### **Reto 2. Verifica el método de Eratóstenes**

**1** Intenta reproducir el experimento de Eratóstenes el día en que el Sol pase por el cenit en tu ciudad; es decir, un objeto parecido a un gnomón (reloj de sol) no debe generar una sombra a mediodía. En Querétaro, donde está ubicado el Centro de Geociencias de la UNAM ( $20.7^\circ$  de latitud), eso ocurre los días cercanos al 25 de mayo y el 18 de julio.

**2** Al mismo tiempo se debe realizar una medición de la sombra de un objeto similar en una ciudad que se encuentre aproximadamente sobre el mismo meridiano. Por ejemplo,

Nuevo Laredo, Tamaulipas, se encuentra a  $28.2^\circ$  de latitud a una distancia angular que es similar a la que existe entre Alejandría y Asuán.



## 4.2 Rayos paralelos y divergentes

Ahora sabemos que la Tierra no es plana y que el Sol se encuentra tan lejos que sus rayos nos llegan de manera paralela. Los griegos antiguos observaron la forma circular del planeta en la forma de la sombra de la Tierra sobre la Luna durante un eclipse, o en el cambio de altura con la latitud de las estrellas fijas, como la estrella polar. Eratóstenes calculó la distancia entre la Tierra y el Sol en 140 millones de kilómetros, suficientes para que los rayos de luz lleguen de manera paralela. Sin embargo, para reforzar estas ideas podemos experimentar con la formación de rayos divergentes en nuestro experimento en miniatura.

### Materiales



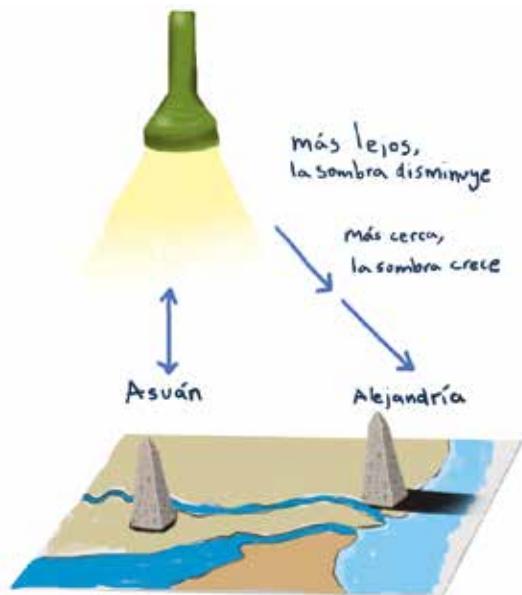
1 lámpara de mano

La cartulina y 2 obeliscos

### Procedimiento



**1** Coloca la lámpara de mano justo sobre el obelisco en Asuán, de manera que no se produzca sombra, observa y mide el tamaño de la sombra en Alejandría, como se observa en la figura.

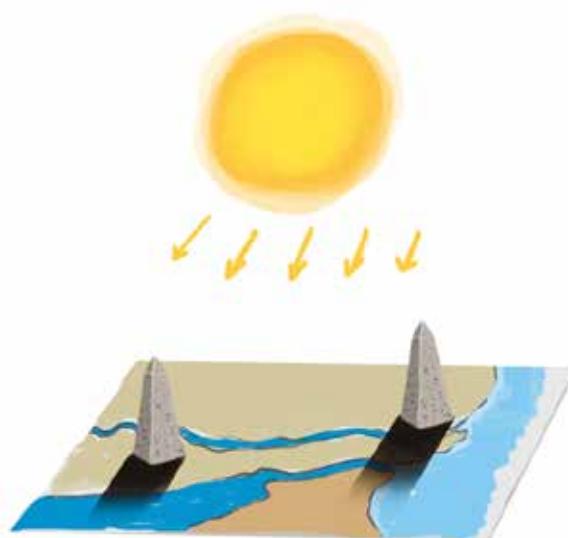


**2** Lleva la lámpara más cerca o más lejos de la cartulina y observa cómo disminuye el tamaño de la sombra. ¿Puedes alejar la lámpara lo suficiente para hacer desaparecer las sombras?

**3** Sal nuevamente a un lugar soleado y observa las orientaciones de las sombras cuando pones la cartulina como en la siguiente figura. Trata de reproducir el experimento con la lámpara de mano. Acerca o aleja la lámpara de la cartulina y observa con cuidado qué sucede.



Rayos Divergentes



Rayos Paralelos

Este experimento nos ayuda a confirmar que el Sol se encuentra muy lejos de la Tierra, por lo que sus rayos nos llegan paralelos.

## 4.3 Explorar para hacer un mapa

Eratóstenes es conocido como el padre de la Geografía, pues fue precisamente él quien le dio una metodología formal. Uno de sus grandes logros fue hacer un mapa del mundo conocido hasta entonces. Un mapa es una representación a escala de la Tierra o de un fragmento de ella, que permite dibujar rasgos y símbolos que la describen en una superficie. Una de sus características más importantes es que se pueden tomar medidas y ángulos sobre ellos con una precisión aceptable. En este experimento haremos un mapa y conoceremos algunas de sus características importantes.

### Materiales



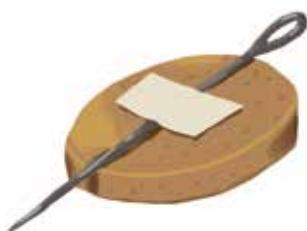
### Procedimiento

**1** El mapa siguiente contiene una porción de terreno de México en donde se muestran: 1) la ubicación del mapa; 2) una rosa de vientos que indica la dirección de los cuatro puntos cardinales; 3) la escala del mapa.

**2** Escribe los cuatro puntos cardinales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (O), en los recuadros en blanco que están sobre el mapa.

**3** Observa los elementos geográficos que hay sobre el mapa (ríos y fronteras) y mide su ángulo con respecto al Norte.

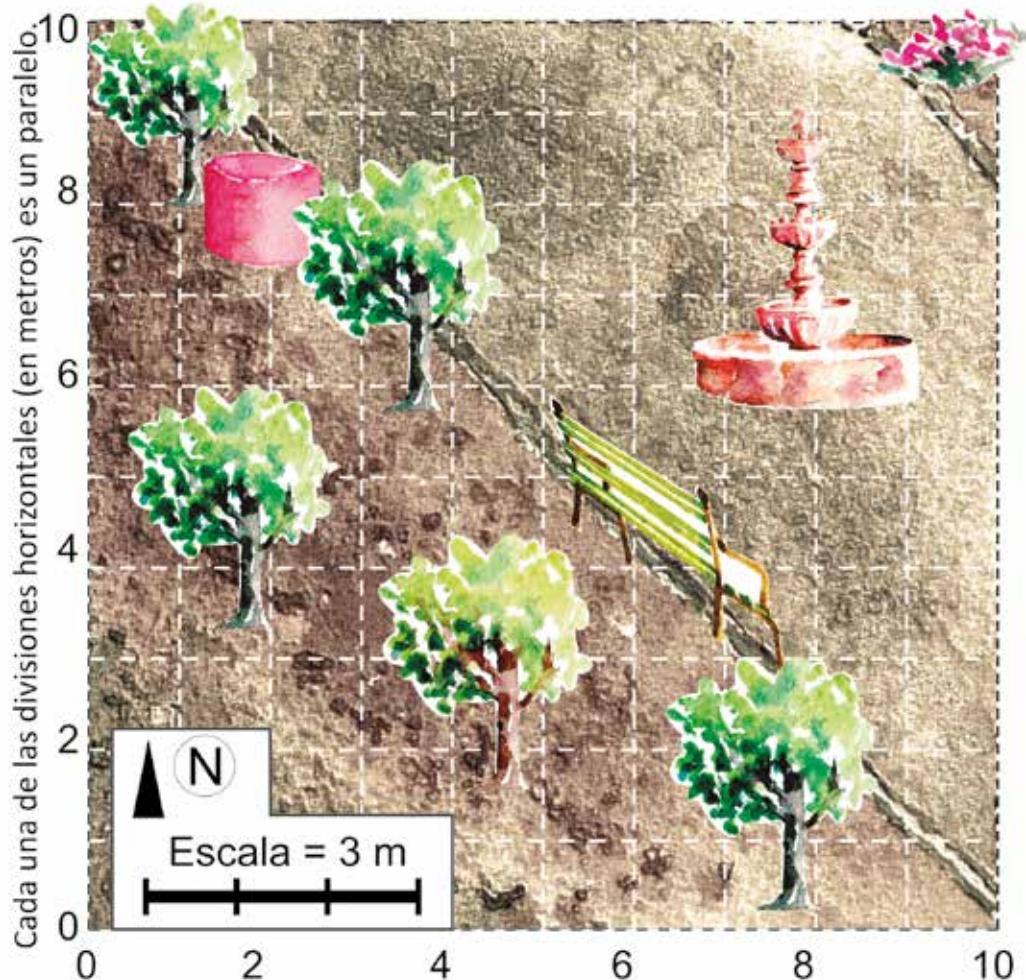
**4** Ahora vamos a construir nuestro mapa del parque más cercano a casa. Dibuja un cuadro de 20 cm x 20 cm en el papel y divídelo en líneas horizontales y verticales cada 2 cm. La escala del mapa es que cada 2 cm en tu cuaderno es 1 metro en el parque. Escoge una parte abierta que tenga dimensiones de al menos 10 m x 10 m. Una vez en el parque, es necesario elegir un punto que represente la posición de origen en tu cuadrícula, el punto (0,0).



**5** Para orientar un lado de la cuadrícula con respecto al Norte necesitas una brújula; si no tienes acceso a una, la puedes construir fácilmente frotando una aguja sobre un imán muchas veces pero siempre en la misma dirección. Coloca la aguja sobre el corcho y pégala con cinta adhesiva. Coloca el corcho en el vaso lleno de agua. Espera a que la aguja termine de girar y su polo imantado estará apuntando hacia el Norte. Dibuja una línea en el parque según la orientación que marca la aguja.



**6** Para facilitar la ubicación de objetos en el mapa puedes medir un paso de medio metro. A partir del punto de inicio, mide 10 m (o 20 pasos) hacia el Norte. Coloca marcas cada metro en el piso. Regresa al origen y párate viendo hacia el Norte, levanta tu brazo derecho y mide 10 m en esa dirección, que será perpendicular al Norte y se llama Este. Ubica los objetos que se encuentren dentro del área del mapa, ponles un símbolo. Dibuja la orientación del Norte y la escala del mapa, en este caso es 2 cm = 1 m.



Cada una de las divisiones verticales (en metros) es un meridiano (dibujo de Claudia Cuadra).

**Listo. ¡Ya hiciste tu mapa!, puedes jugar con tus amigos dándoles las coordenadas de objetos en tu mapa y pidiendo que los encuentren.**

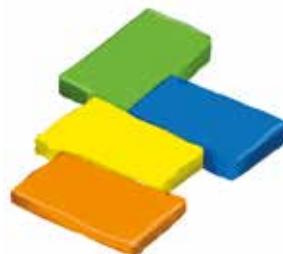
## 4.4 Medir hacia el interior de la Tierra

En Geología, una sección es un plano que se adentra hacia la Tierra desde la superficie. En otras palabras, es como si pudiéramos hacer cortes para revelar lo que hay dentro. Generalmente, las secciones se dibujan a partir de los mapas, pero en otras ocasiones algunas montañas nos permiten ver su estructura (su arreglo geométrico interno) porque fueron erosionadas o cortadas por fallas. En la siguiente figura presentamos la sección de una montaña en la que se observa que su geometría puede ser muy complicada. En este experimento reproduciremos en escala una montaña y haremos secciones para conocer la estructura resultante.

### Materiales



Plastilina de diferentes colores



1 rodillo de cocina

2 reglas de madera o acrílico



1 cúter o espátula

### Procedimiento



**1** En una superficie plana, utiliza el rodillo de cocina para hacer placas de diferente espesor con la plastilina, preferiblemente menor de un centímetro. Por ejemplo, puedes hacer 2 de medio centímetro y otras 2 de 1 cm. No es necesario que los espesores sean exactos, pero puedes ayudarte con dos guías a los lados con el espesor requerido. Corta 4 o 5 placas cuadradas de diferente color pero todas con dimensiones de 7 cm x 5 cm. Coloca las placas una encima de otra. Coloca las reglas en



los extremos del lado largo del pastel de plastilina y empújalo hacia el centro para deformar el pastel, como se observa en la figura. Con el cíuter o espátula haz secciones de tu simulación de montaña perpendiculares a las reglas.

Puedes hacer varios pastelitos de plastilina y deformarlos de diferente manera. Por ejemplo, puedes poner más esfuerzo en una de las reglas o empujarla con un ángulo. Compara las secciones que obtengas.



## 4.5 Medición de distancias con ondas

Si alguna vez te has preguntado cómo se puede localizar y conocer la profundidad de un objeto situado debajo de la superficie de la Tierra que no se puede ver, este experimento te parecerá muy interesante. La Geofísica es la disciplina que mide la estructura de la Tierra y utiliza varios métodos para localizar objetos en el subsuelo y determinar sus propiedades. El principio general de estos métodos es enviar ondas al subsuelo, aquí sólo te contaremos brevemente cómo las puedes observar y para qué se pueden utilizar.

Un principio básico en el estudio de la propagación de ondas es que la energía, de cualquier tipo, se puede reflejar o refractar cuando encuentra medios con propiedades diferentes. Para el caso específico de la reflexión, si quieres conocer la distancia o la profundidad del objeto que la refleja sólo tienes que medir el tiempo que tarda en viajar de ida y vuelta y tener una idea de la velocidad con que viaja. Recuerda que las ondas viajan a velocidades diferentes en diferentes medios.

Algunas velocidades del sonido que son útiles para que calcules distancias son:

En el aire = 331 m/s

En el agua del mar = 1435 m/s

En agua dulce = 1493 m/s

En concreto = 4000 m/s

### Materiales



1 cuerda,  
de preferencia de  
más de 3 m de  
longitud

1 árbol o poste



### Procedimiento

**1** Toma la cuerda, amarra un extremo a un árbol o poste y toma el otro extremo con tu mano.

**2** Sujetando la cuerda con fuerza mueve tu brazo hacia arriba y hacia abajo y podrás observar cómo se propagan las ondas de la energía de tu brazo a través de la cuerda.





## Explicación

Amplitud es la distancia media entre las crestas y los valles de las ondas y depende de la intensidad de la energía o de la fuerza con la que muevas el brazo. La distancia entre dos crestas o valles consecutivos se llama longitud de onda. Frecuencia es el número de veces que las crestas pasan por el mismo lugar en cierto tiempo, su inverso es el periodo y es el tiempo que pasa entre una cresta y otra. Si produces muchas ondas con distancias cortas entre ellas, su frecuencia es alta, pero si produces ondas amplias con gran longitud de onda tendrás pocas ondas en tu cuerda y su frecuencia será baja. Si mides con un cronómetro el tiempo que tarda en viajar una onda de un extremo a otro de la cuerda, podrás conocer su velocidad de propagación.

## Variación

Como puedes ver, si conoces la amplitud, frecuencia y velocidad de las ondas, puedes conocer algunas características del medio en el que se propagan las ondas o la distancia hacia un objeto determinado. Para observar cómo se propagan las ondas sólo tienes que dejar caer un objeto pequeño en un estanque, alberca o tina con agua. Cuando el



objeto toca el agua puedes ver que las ondas que se generan son de mayor amplitud y frecuencia que las que se van desplazando lejos del punto en donde cayó el objeto. Esto sucede porque a medida que la energía se propaga pierde intensidad hasta desaparecer. Si el estanque es lo suficientemente grande podrás observar que las ondas que llegan más lejos tienen una mayor longitud de onda, las ondas largas viajan más lejos y su frecuencia es menor.

Estos experimentos te permiten conocer un principio básico de la propagación de ondas. Si quieras localizar objetos que se encuentran a grandes profundidades tendrás que utilizar frecuencias bajas, pero si quieras localizar objetos pequeños a poca profundidad tendrás que utilizar frecuencias altas. En Geofísica se estudia con detalle cuáles frecuencias es necesario aplicar para los diferentes tipos de energía, dependiendo del medio que se estudia o del objeto que se está buscando.

## Aplicación

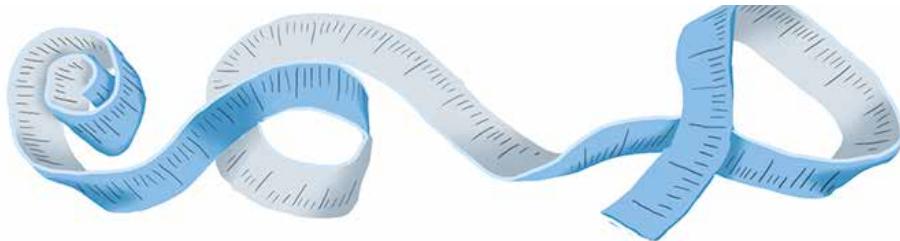
Una aplicación de lo que ya sabes sobre la propagación de las ondas es la siguiente. Si viajaras en un barco y quisieras conocer la profundidad del agua, entonces podrías utilizar un equipo que emite ondas acústicas o mecánicas, como una campana, y tendrías que medir el tiempo que tardan las ondas en viajar a través del agua hasta el fondo y regresar. Es necesario tener un equipo especializado para transmitir y recibir la onda reflejada.

Conociendo la velocidad de propagación (sabiendo que  $V=d/t$ ; velocidad es igual a la distancia entre el tiempo, y por lo tanto  $d=Vt$ ) puedes calcular la distancia entre el barco y el fondo del lago.



## 4.6 Medición de las propiedades de los materiales de la Tierra

Los materiales geológicos constituyen la Tierra; de manera general, podemos decir que son los suelos, las rocas y el agua. En esta sección te vamos a contar algunas diferencias importantes entre las propiedades de suelos y rocas desde el punto de vista de su comportamiento mecánico, es decir, su consistencia; qué tanto se deforman o cuánto peso pueden aguantar sin romperse.



### Conceptos generales

El concepto de suelo puede variar para diferentes disciplinas. Para ti el suelo puede ser sencillamente el piso en donde estás parado en este momento, para un agricultor el suelo es el medio en donde crecen y se nutren sus cultivos, un geólogo diferencia el suelo con actividad orgánica de los sedimentos que fueron o pueden llegar a ser una roca, como la arena, el limo o la arcilla; para un ingeniero civil el suelo es el material natural que se deshace fácilmente, es decir, que no es tan duro como una roca y de sus propiedades depende el tipo de cimentación que deberá diseñar para una casa o edificio. La disciplina que estudia el comportamiento mecánico de los materiales geológicos para fines de construcción se llama Geotecnia, o específicamente para suelos y sedimentos se llama Mecánica de Suelos, mientras que para rocas se llama Mecánica de Rocas. De estas disciplinas hemos tomado algunos principios para mostrarte cómo se pueden medir algunas de sus propiedades.

De acuerdo con Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, éstos se clasifican por el tamaño de las partículas en: grava (entre 4.78 mm y 2 mm de diámetro); arena, como la de la playa (entre 2 mm y 0.075 mm); limo, como el del fondo de los lagos (entre 0.075 mm y 0.002 mm), y arcillas, que generalmente constituyen el barro con el que se hacen ladrillos y vasijas (con partículas más pequeñas de 0.002 mm o 2 micras). Cabe remarcar que generalmente en la naturaleza los suelos son una mezcla de estos materiales y tamaños.

## 4.6a Medir el contenido de agua del suelo

*La mayor parte de las propiedades mecánicas de los suelos depende de la cantidad de agua o humedad que tienen. En este experimento te mostraremos cómo se puede medir el contenido de agua de un suelo y para qué sirve determinarlo.*

### Materiales



1 muestra de suelo, puedes tomar cualquier material natural de un jardín, de un bosque o de los sedimentos de un río

1 vaso que se pueda meter al horno de la cocina o al horno de microondas

1 báscula

Horno de cocina de gas o de microondas

### Procedimiento

**1** Pesa el vaso vacío ( $P_v$ ) y después llénalo al ras con la muestra del suelo y pésalo nuevamente, éste es el peso de tu muestra húmeda ( $P_{mh}$ ). Después mételo al horno de la cocina, durante 6 horas si es un horno de gas a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  y durante 5 minutos con toda la potencia si es un horno de microondas.

**2** Después lo pesas cuando este frío, éste será el peso de tu muestra seca ( $P_{ms}$ ). Si restas ambos pesos ( $P_{mh} - P_{ms}$ ), obtendrás el peso del agua ( $P_a$ ) que tenía tu suelo antes de secarlo en el horno. Si ahora al peso de tu muestra seca le restas el peso del vaso ( $P_{ms}-P_v$ ) obtendrás el peso del suelo seco ( $P_s$ ).

Si divides el peso del agua entre el peso del suelo seco y lo multiplicas por 100 obtendrás en porcentaje el contenido de agua o humedad de tu suelo ( $H\%$ ):  $H\% = (P_a / P_s) \times 100$



## 4.6b Medir la consistencia del suelo

Es importante medir el contenido de agua de un suelo porque de esto depende que se comporte o no como sólido. Alberto Atterberg, a principios del siglo XX, definió unas mediciones llamadas límites de consistencia, que se refieren a la cantidad de agua que puede tener un suelo sin que cambie su consistencia o comportamiento físico. Así, un mismo suelo se puede comportar como líquido, plástico o sólido, dependiendo de la cantidad de agua que contenga.

### Materiales



1 muestra de suelo



1 vaso transparente

Agua



### Procedimiento



**1** Obtén una muestra de suelo, de preferencia bien seco y sin terrones. Para un mejor resultado trata de usar mezclas de arena, limo y arcilla.



**2** En su estado seco rellena el vaso y voltéalo, podrás observar que al voltearlo el suelo forma un cono invertido como cualquier material granular seco (por ejemplo, los conos invertidos de arena que se forman cuando descargan los camiones de volteo).

**3** Agrega un poco de agua al suelo hasta formar una pasta con la consistencia de la plastilina, rellena nuevamente al vaso y al voltearlo notarás que el suelo tomó la forma del vaso como un molde, ésta es su consistencia plástica.

**4** Finalmente, agrega más agua al suelo hasta hacer una mezcla espesa dentro del vaso, al voltearlo notarás que el suelo fluye como cualquier líquido; por eso a esta consistencia se llama líquida.

## Explicación

Con este experimento has aprendido que un mismo suelo puede pasar por diferentes estados de consistencia: sólido, plástico y líquido, dependiendo de su contenido de agua. En los estudios de Mecánica de Suelos se mide el contenido de agua de los materiales y sus límites de consistencia para saber cómo se pueden comportar durante y después de la construcción de una obra.



## 4.6c Medir el cambio del volumen del suelo

Otra propiedad importante de algunos suelos es que pueden absorber mucha agua y aumentar su volumen de manera considerable, es decir, se expanden. Cuando estos suelos se secan, disminuye su volumen y se contraen. Los suelos que se expanden y contraen son generalmente limos combinados con arcillas y se pueden reconocer porque son muy plásticos. Las arenas no presentan esta propiedad. Tú puedes saber si tu suelo es expansivo con este sencillo experimento.

### Materiales



1 muestra de suelo

1 vaso de plástico transparente

1 marcador indeleble

Agua

### Procedimiento

**1** Coloca una muestra de suelo en tu vaso y marca el nivel con el marcador.



**2** Agrega un poco de agua y déjalo reposar toda la noche. Si al día siguiente el agua se integró al suelo y éste aumentó su volumen puedes tener la certeza de que tienes un suelo arcilloso expansivo, ahora déjalo secar y podrás ver cómo se contrae.



### Aplicación

En época de secas, cuando casi no llueve, los suelos arcillosos están secos y con grietas y el terreno tiene cierto nivel. Cuando llueve, los suelos absorben mucha agua y aumentan su volumen. Cuando hay suelos arcillosos en una zona es importante medir su capacidad de expansión y contracción, porque este fenómeno puede causar daños importantes a casas y edificios, en Mecánica de Suelos estos materiales se conocen como arcillas expansivas.

## 4.7 Mide la resistencia de los materiales geológicos

Aunque parezca evidente, muchas veces no es fácil distinguir entre un suelo y una roca. Si el suelo es arcilloso y la roca es muy dura, no hay duda. El problema empieza cuando el suelo es muy duro o la roca está muy alterada y se deshace al tocarla. La definición formal de la palabra roca nos dice que es un agregado de minerales, pero el suelo también lo es. Una manera de distinguir uno de otro es la capacidad que tienen de deformarse o de romperse cuando se les aplica un esfuerzo, es decir su resistencia. Este concepto lo puedes comprender si imaginas a un niño que intenta caminar sobre un tronco que no resiste su peso. Algunos materiales pueden parecer resistentes, pero sólo hasta que se les aplica un esfuerzo determinado es que se puede medir esta propiedad. El tronco se rompió porque su resistencia fue vencida por el peso del niño que intentaba cruzar el río.

Cuando se aplica una fuerza, en nuestro ejemplo el peso del niño medido en las unidades kilogramos-fuerza "kgf" del Sistema Técnico de Unidades o simplemente kilos), sobre una unidad de área de  $1 \text{ cm}^2$ , se obtiene un esfuerzo, cuya unidad de medición es  $\text{kgf/cm}^2$ . Si la fuerza se distribuye sobre una gran superficie, la resistencia del material aumenta, pero si se aplica sólo en una porción o punto del material su resistencia disminuye. La ruptura de un material indica su resistencia bajo un cierto esfuerzo. La diferencia entre suelo y roca depende de la resistencia que presentan en pruebas de laboratorio, por ejemplo, si el material se rompe en compresión a menos de  $14 \text{ kgf/cm}^2$  se toma como suelo, en caso contrario se toma como roca.



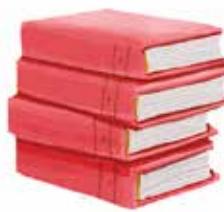
## 4.7a Medir la resistencia a la flexión

### Materiales



3 bolsitas de plástico de diferente tamaño

Azúcar o arena



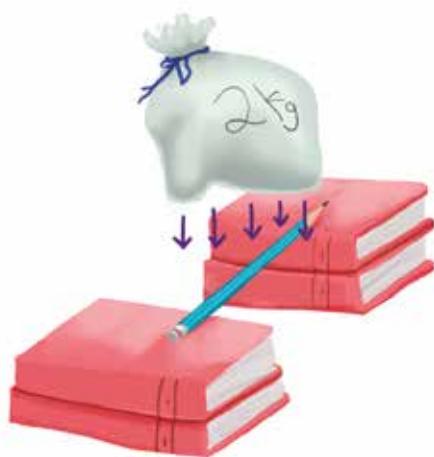
4 libros



1 lápiz y  
una varita de espagueti

### Procedimiento

Rellena las bolsitas con diferentes pesos de azúcar o arena: 0.5, 1 y 2 kgf. Para evaluar la diferencia de resistencia entre dos materiales vamos a hacer el siguiente experimento. Coloca en una mesa dos libros apilados enfrente de otros, como se observa en la figura. Entre los libros pon una varita de espagueti y encima la bolsita de 0.5 kgf. La varita se rompe porque su resistencia es menor que el esfuerzo aplicado. Los suelos son, en cierta manera, como el espagueti, quebradizos y de baja resistencia. Si colocas un lápiz podrás observar que soporta muy bien la bolsita de 0.5 kgf o de 1 kgf pero probablemente se romperá al poner la bolsita de 2 kgf. La resistencia de las rocas se parece más a la del lápiz, es más elevada pero no demasiado.



## 4.7b Medir la resistencia a la compresión

### Materiales



1 pedazo de pastel, un cubito de queso panela y una roca

3 bolsitas de plástico de diferentes tamaños con azúcar o arena

### Procedimiento

**1** Utiliza las mismas bolsitas que preparaste para el experimento anterior.

**2** Corta un pedazo de pastel de 5 cm x 5 cm, es decir con un área de  $25 \text{ cm}^2$ , y coloca la bolsita de 0.5 kgf sobre éste. Verás que el pastel no soporta el peso porque su resistencia a la compresión es menor a  $0.5/25 = 0.02 \text{ kgf/cm}^2$ , esta resistencia es parecida a la de un suelo limoso o arcilloso húmedo.

**3** Si ahora haces un cubo de queso panela del mismo tamaño notarás que no le pasa nada con la bolsita de 0.5 kgf, pero se comprimirá si pones la bolsita de 2 kgf sobre él, porque su resistencia a la compresión es menor a  $0.08 \text{ kgf/cm}^2$ . Si ahora colocas la bolsa sobre una roca del mismo tamaño, verás que soporta los 2 kgf sin deformarse, porque su resistencia a la compresión es mucho mayor.



Algunos tipos de rocas son utilizados para la construcción debido a su resistencia; por ejemplo, la cantera es suave para moldearla, por eso se usa como bloque para construir; el granito resiste el desgaste y se usa en iglesias y museos, el mármol se puede cortar en láminas y se emplea para fabricar pisos. Observa a tu alrededor e identifica qué tipos de rocas se usaron para construir las casas y edificios que conoces.



El ser humano mide para conocer su entorno. Desde el experimento de Eratóstenes hasta nuestros días se ha medido una infinidad de longitudes, fenómenos y procesos. Sin embargo, todavía hay muchas cosas por medir, por conocer y experimentos por hacer. ¡Esperamos que este capítulo te motive a encontrarlas y medirlas!

# **La edad de la Tierra**

**Ángel F. Nieto Samaniego  
Susana A. Alaniz Álvarez**



Si te preguntaras qué edad tiene la Tierra ¿cómo le harías para responder esa pregunta? Aquí te decimos cómo la han tratado de contestar ilustres personajes, desde religiosos hasta científicos. En general se usaron dos métodos: uno tratando de obtener la edad absoluta (en años) y el otro tratando de obtener la edad relativa (más joven o más viejo que alguna cosa).

Sin duda, la pregunta ¿qué edad tiene la Tierra? es una de las grandes preguntas que se ha hecho la humanidad. Aquí te presentamos algunos experimentos en los que verás cómo, al tratar de responder esa pregunta, se han logrado contestar otras. También te explicamos cómo hacer algunos experimentos que hicieron famosos a grandes personajes de la ciencia.

Gregor Mendel



## Cálculos basados en la Biblia

Desde el siglo II hasta el siglo XVII se hicieron varios cálculos de la edad de la Tierra basados en lo escrito en la Biblia. Quizá el más famoso de esos intentos fue el realizado en 1650 por el arzobispo James Ussher, quien sumó los años de vida de los descendientes de Adán hasta Abraham. Determinó el año en que Abraham ocupó su sitio en la historia y sumándole las edades de todos sus ascendientes, calculó que la Tierra debería tener 5994 años de edad.

¿Por qué no se pudo obtener la edad de la Tierra con este método? Ese cálculo considera que Adán ocupó su sitio en la Tierra en el sexto día de haberse formado ésta. Sin embargo, los descubrimientos geológicos, paleontológicos y radiométricos posteriores,—que en este libro mencionaremos—, demostraron que la Tierra se había formado mucho tiempo antes de que el hombre apareciera en ella.

Una de las primeras evidencias científicas de la gran cantidad de tiempo que ha existido nuestra Tierra provino de los registros fósiles, pues en ellos se observó que los seres vivos cambiaron muchísimo a lo largo del tiempo; hablaremos de eso más adelante, pero empezaremos por conocer la manera en que cambian los seres vivos.

## Las Leyes de la Genética

¿Cómo se sabe cuáles características se heredan y cuáles no? Sin duda, uno de los experimentos más importantes de la ciencia fue llevado a cabo entre 1865 y 1866 por Gregor Mendel, un monje austriaco. Él realizó su experimento con chícharos para saber cuáles características se heredan. Suena simple ¿verdad?, pues bien, con ese experimento se inició la Genética, que es la parte de la Biología que trata de la herencia y de lo relacionado con ella.

Las características de los seres vivos responden a la manifestación de lo que llamamos genes y al ambiente actuando sobre los individuos. Se sabe que para una característica determinada, los genes presentan variantes



denominadas “alelos”, los cuales pueden ser “dominantes” o “recesivos”. Los alelos dominantes son aquellos que cuando están presentes siempre se manifiestan, mientras que los recesivos, únicamente se manifiestan en ausencia del alelo dominante. Por ejemplo, los ojos cafés se han considerado manifestación de alelos dominantes, mientras que los ojos azules, de alelos recesivos. Por simplicidad consideraremos aquí que el color de ojos depende de un solo gen. Entonces, siempre que en un descendiente, uno o dos de los alelos para color de ojos sean dominantes, el descendiente tendrá ojos cafés, no importa que también tenga el alelo recesivo. En cambio, cuando los dos alelos para color de ojos son recesivos el descendiente tendrá ojos azules. Ese es, de manera muy simplificada, el secreto de la herencia.

El que un hijo tenga ojos cafés es una cuestión de probabilidad, la cual depende de los alelos de los padres. Esto se muestra en la tabla siguiente, para el caso en que los padres tienen tanto alelos dominantes como recesivos: En la tabla, solo tres casillas contienen **O**. Es decir, hay una casilla sin **O**. Por lo tanto, de cada cuatro hijos, lo más probable es que solo uno salga con ojos azules.

		<b>Mamá</b>	
		(heredó un alelo de cada parente)	
		<b>O (cafés)</b>	<b>x (azules)</b>
<b>Papá</b>	<b>O (cafés)</b>	<b>OO</b>	<b>Ox</b>
(heredó un alelo de cada parente)	<b>x (azules)</b>	<b>xO</b>	<b>xx</b>

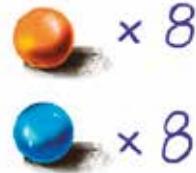
## 5.1 Probabilidad de heredar ojos claros

### Materiales



1 cuaderno

1 lápiz



8 canicas cafés (o de algún otro color oscuro)

8 canicas azules

2 recipientes pequeños



### Procedimiento



Vamos a simular el caso del ejemplo mencionado arriba. En un cuaderno haz una tabla con 20 casillas. Consideraremos las canicas cafés como el alelo dominante (ojos cafés) y las canicas azules como el alelo recesivo (ojos azules). En cada recipiente pon 4 canicas cafés y 4 azules. Ahora, sin ver, saca una canica de uno de los recipientes, si sale café pon una O y si sale azul pon una x en la primera casilla de

la tabla; enseguida regresa la canica a su recipiente. Saca otra canica del segundo recipiente y según la canica que salga, anota una x o una O en la misma casilla. Repite el mismo procedimiento para cada una de las 20 casillas. Ahora cuenta cuántas casillas contienen OO, cuántas xx y cuántas Ox.



## Observa

La proporción de casillas con al menos una O representa la probabilidad de hijos con ojos cafés. Por ejemplo, si obtuviste 16 casillas que contienen una O, quiere decir que de cada veinte hijos, lo más probable es que habrá 16 con ojos cafés. Como es difícil que alguien tenga 20 hijos, pues mejor decimos que de cada 10 hijos, probablemente 8 serán de ojos cafés, o de cada 5 hijos, probablemente 4 serán de ojos cafés; ¿te das cuenta?, es lo mismo.

## Explícalo

Las características de una población reflejan la manera en que los individuos se han mezclado, o sea, la manera en que sus genes se mezclan. Es importante hacer notar que, a diferencia del ejemplo que vimos, donde la característica analizada es determinada por un gen, hay otras características que son determinadas por un conjunto de genes. Un ejemplo es la estatura de los individuos.

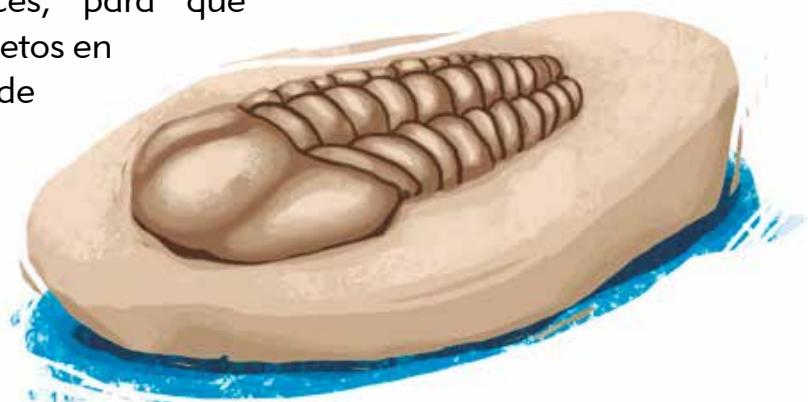
## Apícalo a tu vida

Los seres vivos son muy diversos y sabemos que heredan de sus padres gran parte de su apariencia, su comportamiento y la manera en que funcionan sus cuerpos. Todos sabemos que hay distintas razas de perros, gatos y todo tipo de animales y plantas. Por ejemplo, en el mercado verás que hay una gran variedad de frijoles, papas, naranjas, etc. Igualmente puedes ver qué distintos son los perros. Sabemos que si se cruzan dos perros de una misma raza, es muy probable que los cachorros salgan iguales a sus padres, pero no siempre ocurre así. A veces sale un perro de otro color o con algunas características distintas. Aunque eso pueda parecer extraño, ahora que hiciste el experimento, sabes por qué ocurre.



## Cálculos basados en el registro de Fósiles

Un fósil es aquella prueba material de vida con más de diez mil años de antigüedad. Los fósiles no pueden decir la edad en años, pero sí pueden decir, dada su cantidad y ubicación, cuáles de ellos son más antiguos. Al observar la distribución de los fósiles en las rocas, se hace evidente la enorme cantidad de tiempo requerido para que un grupo de seres haya desaparecido por completo; es decir, para que hayan evolucionado. Eso llevó a Charles Lyell a pensar que, en el tiempo que el humano ha podido observar a los organismos actuales, estos prácticamente no han cambiado, entonces, para que desaparecieran grupos completos en el registro geológico, debería de haber pasado una enorme cantidad de tiempo.



## 5.2 Especies que se extinguieren

### Materiales

2 tazones



10 canicas verde oscuro



10 canicas azul oscuro



10 canicas amarillo oscuro



10 canicas negras

Canicas transparentes tipo "agüitas": 10 sin color, 10 azul claro, 10 amarillo claro y 10 verde claro.  
También se puedes usar cuentas de plástico

Papel, lápiz, plumón



### Procedimiento

**1** Marca el tazón de las canicas oscuras con una A y el tazón de las canicas claras con una B.



**2** Sin ver cuál sacas, toma una canica del tazón B y ponla en el tazón A.



**3** Revuelve las canicas del tazón A.

**4** Saca del tazón A una canica y deséchala.



**5** Repite esta operación 5 veces y observa cuántas canicas originales (oscuras) quedaron en el tazón A, anótalo en el papel en forma de tabla.



**6** Repite la operación otras 5 veces y vuelve a anotar cuántas canicas oscuras y cuántas claras quedan en el tazón A.



**7** Repite la operación hasta que se agoten las canicas del tazón B.

## Observa

Podrás ver que conforme realizas la operación descrita, las canicas oscuras van desapareciendo y las canicas claras van ocupando su lugar. También verás que algunas canicas oscuras desaparecerán primero y otras permanecerán.

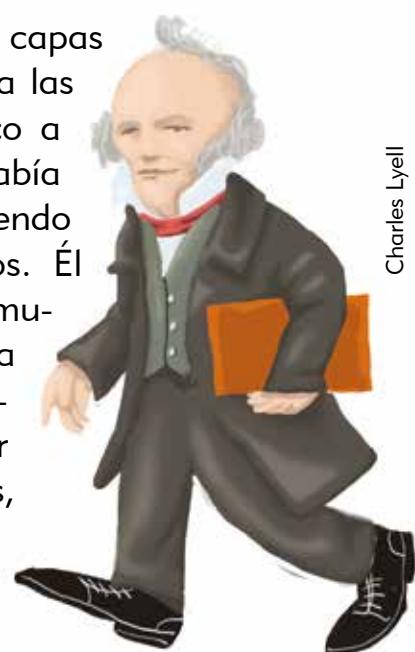
## Explícalo

En el experimento vemos que la cantidad de canicas oscuras va disminuyendo conforme se repite la operación descrita y, por lo tanto, también podemos decir que desaparecerán en algún momento si seguimos repitiendo dicha operación. Si tomamos la hora cada vez que anotamos el número de canicas en nuestra tabla, veremos que hay una relación entre el tiempo transcurrido y el número de canicas oscuras que van quedando. Es importante notar que el tiempo necesario para que lleguen a desaparecer por completo las canicas oscuras se va haciendo enorme, conforme aumentamos el número inicial de canicas.



## Encuéntralo en la Naturaleza

Charles Lyell notó, en un conjunto de capas de roca, que al ir ascendiendo hacia las capas superiores, desaparecían poco a poco las poblaciones de fósiles que había observado en las capas inferiores, siendo sustituidas por otros fósiles distintos. Él interpretó que debieron transcurrir muchos millones de años para que una población completa de fósiles desapareciera. De esa manera, al ordenar los fósiles por grupos o poblaciones, estableció la Tabla del Tiempo Geológico, que es la base fundamental de la Geología.



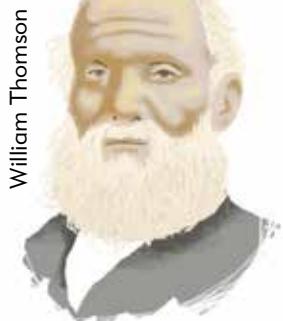
Charles Lyell

## Cálculo basado en la pérdida de calor de la tierra

La idea de que la Tierra inició como una masa incandescente es muy antigua. En el auge de las ciencias físicas del siglo XVIII, varios personajes decidieron hacer un cálculo de cuánto tardó la Tierra en enfriarse hasta su estado actual. Uno de ellos,

quizá el más famoso, fue Georges Louis Leclerc, más conocido como Conde de Buffon, quien en 1779 hizo dicho cálculo, proponiendo una edad para la Tierra de 75 000 años.

En 1862 William Thomson (conocido como Lord Kelvin) hizo un cálculo semejante, pero más detallado y calculó una edad de 20 a 100 millones de años.



William Thomson



Georges Louis Leclerc

### ¿Por qué no se pudo obtener la edad de la Tierra con este método?

En estos cálculos no consideraron varias cosas, por ejemplo: que la Tierra contiene minerales radiactivos que aportan calor; que el calor en la Tierra se transmite también por convección (ver el capítulo 2); que la corteza terrestre es una “costra” que se ha engrosado con el tiempo y hace más lenta la pérdida del calor, y consideraron temperaturas mucho menores que las que hay en la profundidad de la Tierra.

## 5.3 Transmisión de calor

*Sin duda habrás notado que parece que los materiales están a distinta temperatura, ya que al tocarlos, algunos se sienten más fríos que otros, pero ¿realmente están a distinta temperatura?*

### Materiales



Materiales varios tales como:  
alfombra, madera, metal,  
barro, mosaico, cartón, etc.

1 termómetro que pueda  
medir temperaturas entre  
0 °C y más de 40 °C.



### Procedimiento

Toca los distintos tipos de materiales, acomódalos de mayor a menor temperatura según tu impresión; luego, con el termómetro mide la temperatura de cada uno.

### Observa

Aunque estén a la misma temperatura, tú sientes que unos están más fríos que otros.



### Explícalo

Los materiales tenderán a tener la misma temperatura si pasan mucho tiempo en el mismo ambiente. Esto seguramente lo has observado cuando dejas sopa caliente en un plato sin tomártela y se enfriá. También notarás que un refresco frío se calienta si se deja fuera del refrigerador. Si esa sopa y ese refresco olvidados estuvieran en un mismo lugar, al rato la sopa y el refresco tendrán la misma temperatura.

Considera que la temperatura de un cuerpo humano es cercana a 36.5 °C; en un día agradable la temperatura ambiental estará a unos 26 °C y los objetos tendrán aproximadamente esa temperatura, es decir, estarán más fríos que tu cuerpo. El que unos objetos se sientan más fríos que otros dependerá de su capacidad de conducir el calor, a lo cual se le llama conductividad térmica. La alfombra es mala conductora del calor, por eso tu piel no puede transmitirte rápido tu calor y no la sentirás tan fría. En cambio, los metales son los mejores conductores del calor y tu calor se transmite a ellos muy rápidamente, por eso se sienten más fríos que otros materiales.



## Aplícalo a tu vida

Cuando sirves la comida en un día muy frío, ésta se enfriará muy rápido pues el plato estará frío. Si quieras que tu comida se mantenga más tiempo caliente, procura que el plato esté tibio antes de servirla.



Para aliviar una parte del cuerpo lastimada, es muy común que en esa parte se pongan objetos muy fríos (bolsa con hielo) o muy calientes (bolsa con agua caliente). Si pones las bolsas directamente sobre la piel, el cambio de temperatura puede ser demasiado rápido y lastimarte; para que eso no ocurra debes usar un trapo entre tu piel y la bolsa. Como la conductividad térmica del trapo es bastante baja, el cambio de temperatura se dará lentamente y sin lastimarte.

Tabla. Conductividad térmica de algunos materiales comparados con el aire.

Aire	1
Madera	6
Agua	24
Vidrio	30-40
Granito	130
Acero inoxidable	600
Cobre	16 000

## Encuéntralo en la Naturaleza

Adentro de las minas se siente mucho calor, porque a más profundidad las rocas están más calientes. Si se pudiera seguir cada vez más profundo, se alcanzarían zonas de la Tierra que están a cientos de grados centígrados. Ese calor se utiliza para producir energía eléctrica en los denominados "campos geotérmicos", que son una manera muy poco contaminante de obtener energía.

Cuando un objeto cambia de temperatura le ocurren muchas cosas, una de las más importantes es que cambia su volumen, y por lo tanto, cambia su densidad. Recordemos que las diferencias de densidades hacen que los fluidos se muevan (ver capítulos 2 y 3). En realidad, en muchísimos de los movimientos que ocurren en la Tierra interviene la transmisión del calor de un objeto a otro; algunos ejemplos son: el movimiento del aire (vientos), el movimiento del agua en el mar (corrientes marinas) y el movimiento de los continentes (tectónica de placas).



## Cálculos basados en la salinidad del agua de mar

El agua de mar es salada, todos lo sabemos, pero ¿por qué es salada? Se ha considerado que es salada porque los ríos que llegan al mar llevan en solución sales, que disolvieron de las rocas durante su camino. A su vez, el agua de los ríos viene principalmente del mar, y es producto de la evaporación que produce el sol. El agua que se evapora del mar forma nubes que al condensarse caen como lluvia sobre la tierra, luego viaja en los ríos hasta regresar al mar, donde se evapora nuevamente... y se repite el ciclo. Con cada viaje del río, el agua acarrea un poquito de sal, que se queda en el mar, haciéndolo un poquito más salado.

Pensando en lo anterior, muchos científicos intentaron ver en cuánto tiempo los mares se habían vuelto salados. Entre ellos John Joly hizo su cálculo en 1899 suponiendo que cuando la Tierra recién se formó, el mar era de agua dulce. Calculó la cantidad de sal transportada por los ríos del mundo al mar cada año y midiendo la salinidad actual del mar, llegó a la conclusión de que la Tierra tenía aproximadamente 89 millones de años.

### **¿Por qué no se obtuvo correctamente la edad de la Tierra con este método?**

Lo que en realidad Joly estaba calculando era la edad de los mares y él consideró que la Tierra siempre tuvo los mismos mares que actualmente tiene. Su cálculo falló, entre otras cosas, porque ahora se sabe que la superficie de los continentes ha cambiado mucho a lo largo de la historia de la Tierra, por eso la cantidad de sal que los ríos acarreaban en el pasado era muy distinta a la que llevan actualmente.

## 5.4 Endulzando el mar

### Materiales



1 piedra pequeña (o cualquier otro objeto pesado)

2 recipientes, uno mediano y otro pequeño



1 vaso transparente



1 pedazo de plástico



Cinta adhesiva



Agua



Sal

### Procedimiento



**1** Añade cucharaditas de sal a un vaso con agua que ya no se disuelva más; es decir, hasta que vea la sal se va al fondo del vaso por más que la agite:



**2** Ahora vacía el agua con sal en el recipiente grande dentro de él (en el centro) pon el recipiente pequeño. Cubre ambos con el plástico y fija el plástico al recipiente con cinta adhesiva.



**3** Enseguida pon la piedra en el centro, de manera que el plástico tome una forma cónica y que la punta del cono esté arriba del recipiente pequeño. Pon todo al sol y déjalo un tiempo.



**4** Para que este experimento funcione se requiere que la inclinación del plástico sea grande, entre más inclinado, mejor.

Una variante es que, usando recipientes metálicos, los pongas a fuego muy bajo en la estufa.

## Observa

En el experimento verás que, pasado un tiempo, el recipiente pequeño contendrá algo de agua. Puedes probar esa agua y verás que no es salada!

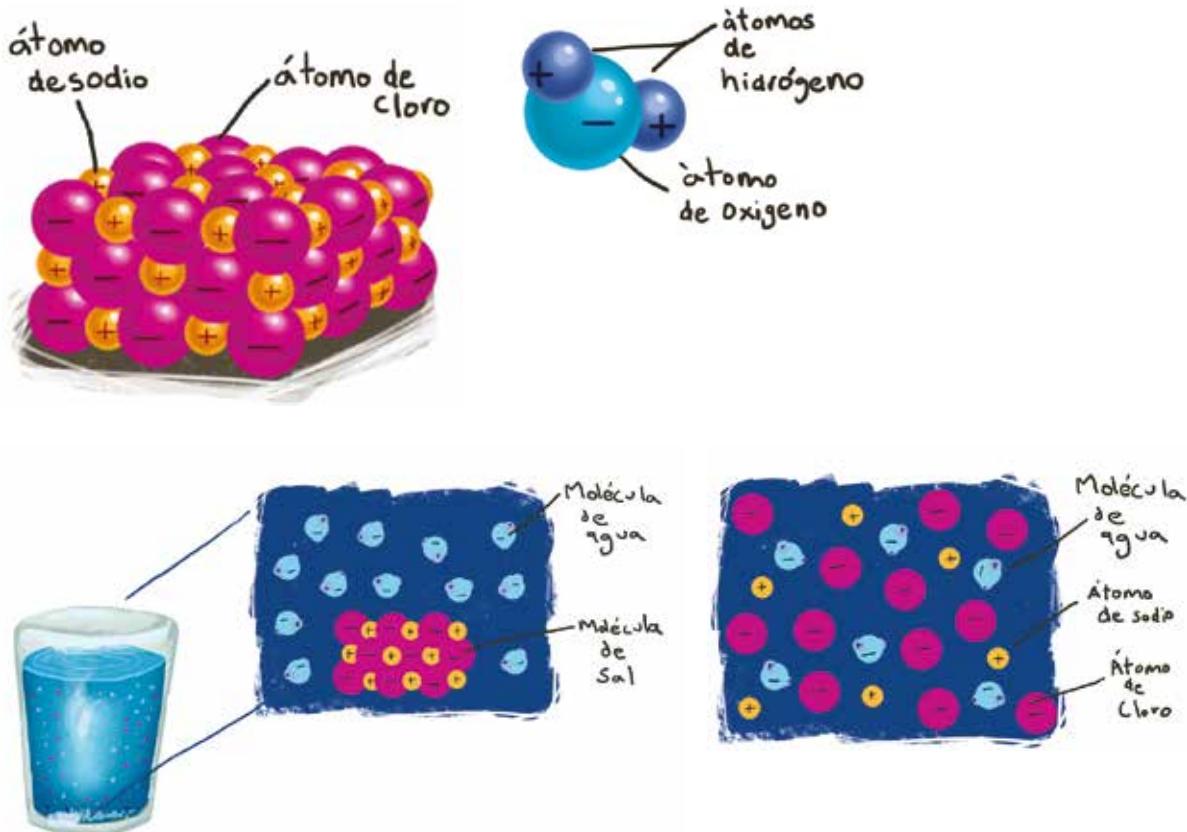


## Explícalo

Lo que hiciste al inicio del experimento se llama disolución, consiste en mezclar dos sustancias, pero se mezclan en partículas muy, muy pequeñas, incluso a nivel molecular o atómico. En el caso de la sal, ésta está compuesta por un átomo de cloro y otro de sodio, todos apretados formando los cristales que ves.

Cuando agregamos la sal al agua, el agua arranca los átomos de cloro de los cristales de sal, dispersando los átomos que forman la sal entre las moléculas de agua, hasta que no queda nada del cristal de sal. Por eso es que, por más que filtres, o centrifugues la solución, no podrás separar la sal nuevamente. La única manera de hacerlo es evaporando el agua o cristalizando la sal.

Lo que hicimos en el experimento de los dos recipientes y el plástico es convertir el agua líquida en vapor (evaporarla) y luego volverla a convertir en líquido (condensarla); el agua que se evapora del recipiente grande se condensa al contacto con el plástico y escurre al recipiente pequeño.





## Apícalo a tu vida

Disolver es una de las cosas que más comúnmente hacemos en casa; por ejemplo, endulzamos el agua de frutas, ponemos sal en los alimentos y hacemos aderezos para poner en las ensaladas. Otro ejemplo es cuando mezclamos jabón o cloro en agua para limpiar. Todo eso es algún tipo de disolución. Muchos alimentos y medicinas también son disoluciones. Aunque te parezca extraño, también hay disoluciones sólidas, por ejemplo los vidrios de colores y muchas cosas de metal como el acero, las joyas de oro y las monedas. Como puedes ver, muchísimas cosas se hacen disolviendo.

## Encuéntralo en la Naturaleza

En la Naturaleza también hay innumerables ejemplos de disoluciones. Basta considerar el agua del mar, el aire, la sangre, el sudor y la savia de las plantas. Te invitamos a pensar qué cosas son disoluciones y verás que las encontrarás por todas partes.

## 5.5 Cristalización

### Materiales



1 vaso transparente

1 palito o lápiz

1 hilo

Alumbre o sal



### Procedimiento

- 1** Disuelve alumbre (o sal) en un recipiente con agua tibia hasta que ya no logres disolver más.
- 2** Amarra un extremo del hilo al centro del palito y en el otro extremo amarra un pedacito de cristal de alumbre.
- 3** Posteriormente se debe colocar el cristal colgando del palito, de manera que quede sumergido en la disolución. El palito apoyado en los bordes del recipiente permitirá sostener el cristal dentro de la disolución.
- 4** Puedes fijar el palito al recipiente con cinta adhesiva.
- 5** Debes entonces guardar el recipiente en un lugar seco y donde no le caiga polvo.



### Observa

Se podrá ver que el cristal crece día con día. Si tienes suerte, el cristal crecerá hasta hacerse bastante grande y podrás ver sus caras fácilmente, a simple vista.

## Explícalo

Recordarás que al inicio del experimento disolviste alumbre hasta que ya no lograban disolver más, eso quiere decir que llegaste al límite máximo de alumbre que esa agua podía disolver, a eso se le llama solución saturada. Guardar el recipiente por un tiempo permitió que el agua se evaporara gradualmente y que aumentara la concentración de alumbre disuelto, lo que hace que supere el límite de saturación en la solución y entonces se produjo la precipitación del alumbre. El cristal que pusiste colgando en el hilo atrajo los cristalitos de alumbre que hay en exceso y de esa manera el cristal creció.



## Apícalo a tu vida

En nuestra vida cotidiana vemos muchos casos de cristalización (precipitación) de muy diversas sustancias. Observa, por ejemplo, cómo en muchas uniones de tuberías aparecen manchas de color blanco o amarillo, comúnmente también aparecen en las llaves de agua y en las regaderas. De la misma manera, aparecen ese tipo de manchas en algunas paredes y pisos durante las temporadas de lluvia (principalmente en los rincones). Cuando se hierve agua aparece una línea blanca en la olla, muy cerca del nivel original del agua. Todos esos son ejemplos de sales que están disueltas en el agua y que precipitan con la evaporación. Esos precipitados afean muchos objetos, o bien, tapan tuberías y otros conductos de nuestros aparatos, es por eso que se vende agua especial libre de sales para usarla en las planchas de vapor, por ejemplo.

## Encuéntralo en la Naturaleza

El mar es un ejemplo de una disolución, todos sabemos que es salado. La sal que consumimos se obtiene, en gran parte, evaporando agua de mar. A veces la Naturaleza hace por ella misma ese procedimiento de precipitación de sal del mar o de lagunas y se forman grandes depósitos de la denominada "sal gema". Al precipitarse la sal de esa manera, lo hace como cristales cúbicos de cloruro de sodio; esa sal es un mineral llamado "halita".





También hay rocas que se forman por precipitación, como las denominadas "caliza" y "travertino", las cuales se usan como rocas de ornato en muchas construcciones, principalmente en edificios públicos; seguramente las has visto. Por ejemplo, el famoso Coliseo de Roma tiene mucho travertino.

Hay un conjunto de rocas que se forman por la precipitación de sales durante la evaporación natural de mares, lagos o lagunas, se llaman "evaporitas". Como puedes ver, su nombre nos dice cuál fue su origen.

Por otra parte, tal vez habrás visto en algunas joyerías piedras muy bonitas, como por ejemplo ágata y ónix, que pertenecen a un conjunto de minerales denominados "calcedonia", los que también se forman por precipitación, en ese caso de sílice.

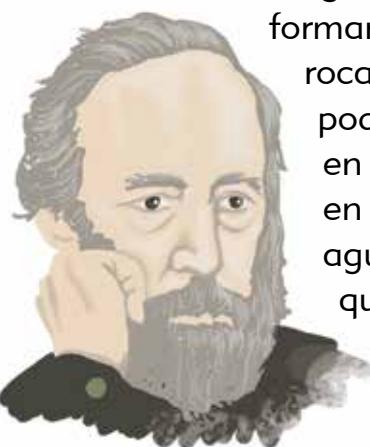
# Cálculos basados en el registro geológico

## Erosión y depósito de sedimentos

En el siglo XV, Leonardo Da Vinci, viendo la capa de sedimentos que estaban a los lados del río Po, pensó que esos sedimentos se depositaban en sus márgenes cada año. Viendo el grueso de las capas y haciendo pruebas de la velocidad con que se acumulaban los sedimentos, calculó el tiempo que debió de tomar la formación de los depósitos de arenas y limos que observaba. De esa manera propuso que si una capa de sedimentos se formó en 20 000 años, entonces la Tierra formada antes que ellos, debería de ser mucho más antigua.

El agua de los ríos siempre tiende a ir hacia el mar y va formando su propio camino. En su camino erosiona las rocas por las que pasa. Mientras mayor sea la pendiente, mayor será su poder erosivo. Al erosionar arranca pedazos y disuelve las rocas que están en los bordes de los ríos. Las rocas desmenuzadas forman sedimentos en suspensión, mientras que la roca disuelta hace que el agua del río aumente su salinidad. Leonardo observó que cuando el agua de los ríos baja su velocidad, o se detiene, los sedimentos se depositan. La erosión y depósito de sedimentos fueron usados en numerosos cálculos para tratar de saber la edad de la Tierra. Por ejemplo, la velocidad de erosión

fue usada por James Croll para calcular, en 1889, que hacen falta 20 000 años para erosionar 1 metro de relieve, proponiendo una edad de 72 millones de años para la Tierra. Por otra parte, numerosos científicos midieron la cantidad de sedimentos que representan las rocas sedimentarias y metamórficas que hay en la Tierra y calcularon el tiempo requerido para su acumulación. Uno de ellos, Arthur Holmes, calculó en 1913 que la edad de la Tierra debía ser entre 250 y 350 millones de años.



James Croll



Arthur Holmes

### ¿Por qué no se pudo obtener la edad de la Tierra con este método?

La erosión es un proceso muy variable en el tiempo y en el espacio. Además, no hay un registro de rocas que abarque la vida completa de la Tierra.

## 5.6 Haciendo arenas movedizas

### Materiales



1 recipiente grande



1/2 taza de fécula de maíz (maizena)

1/4 de taza de agua

### Procedimiento

**1** Primero introduce un dedo en el agua y muévelo, verás que se mueve fácilmente, pero hay cierta resistencia al movimiento, lo notarás más si comparas el movimiento cuando agitas el dedo en el aire.



**2** Ahora mezcla la maizena con el agua ayudándote con una cuchara, hasta que parezca una pasta.

### Observa

Si dejas reposar un tiempo la mezcla, la maizena se deposita en el fondo del recipiente, dejando encima una capa de agua. Si antes de que se separen el agua y la maizena golpeas con fuerza la superficie, verás que parece un sólido, pero si metes un dedo suavemente y lo mueves lentamente, parece un líquido. Si metes un dedo y tratas de sacarlo muy rápidamente, sentirás que tu dedo está atrapado.



## Explícalo

Las partículas finas de rocas, o de maízena en el experimento, no se combinan químicamente, solo se mantienen en suspensión, “nadando” en el agua. En este experimento habrás visto que el material en suspensión se depositó en el fondo después de un tiempo. A este proceso se le llama sedimentación y al material que queda en el fondo se le llama sedimento.

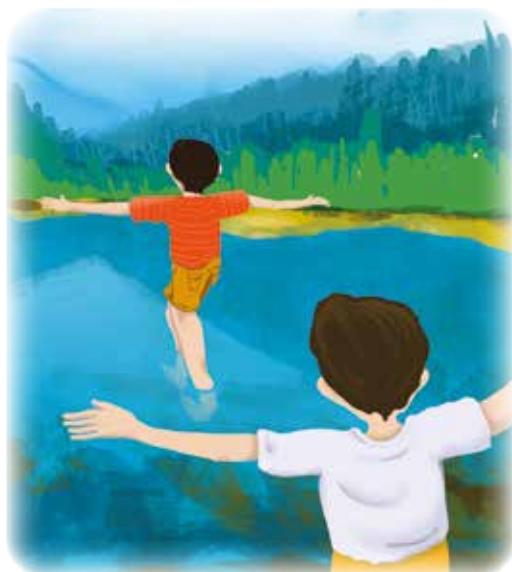
Cuando el agua está sola, sin partículas en suspensión, se comporta como líquido. Aunque se mueve fácilmente, presenta cierta resistencia al movimiento, la cual se llama viscosidad. Dicha resistencia se mantiene igual, ya sea que el agua se mueva rápida o lentamente. Cuando el agua contiene partículas, ocurre un cambio muy importante, pues la resistencia al movimiento depende de la velocidad con que se intenta mover la mezcla. Cuando se trata de moverla rápido, su resistencia se hace tan grande que parece sólido, pero si se mueve despacio la resistencia es muy pequeña y se comporta como líquido.

## Apícalo a tu vida

Muchas cosas que utilizamos o comemos tienen partículas en suspensión, por ejemplo la pintura, algunas medicinas, salsas, o agua de frutas. Es por eso que a veces necesitamos agitarlas antes de consumirlas o usarlas, ya que las partículas que contienen se sedimentan al estar sin moverse durante un tiempo.



## Encuéntralo en la Naturaleza



Es muy común que haya lodo en las orillas de los lagos, ríos, estanques, etc. El lodo es una mezcla de partículas y agua, así que se comportará de manera parecida a tu mezcla de maízena y agua. Si pisas allí podrás caminar rápidamente sobre el lodo y sentirás que resiste bien tu peso, pero en cuanto te detengas empezarás a hundirte. Debes tener cuidado pues puedes dejar un zapato atrapado en el lodo y será difícil rescatarlo.

# Cálculos basados en la desintegración radiactiva

## El aporte de Ernest Rutherford

Ernest Rutherford fue uno de los físicos más importantes de inicios del siglo veinte; su más famosa aportación fue el modelo del átomo que lleva su nombre. Él propuso que el átomo está formado por un centro muy pequeño al que llamó núcleo, donde hay partículas muy apretadas unas con otras. Propuso también que los electrones estaban girando a su alrededor y que había una gran cantidad de espacio vacío entre el núcleo y los electrones. Rutherford ideó este modelo a partir de los resultados obtenidos en un experimento que realizaron, bajo su dirección, su joven colega Hans Geiger y el estudiante Ernest Marsden en 1909.

En esos tiempos se creía que el átomo era como un “pan con pasas”, formando una masa sin espacios vacíos. El experimento consistía en lanzar unas partículas llamadas “alfa” sobre una placa de oro. Lo interesante resultó al observar que algunas partículas rebotaban como si chocaran contra algo muy duro y masivo (el núcleo del átomo), mientras que la mayoría de las partículas, o bien atravesaban la placa, o solamente se desviaban un poco.



Ernest Rutherford

## 5.7 “Choque de átomos”

### Materiales



1 caja de cartón pequeña



3 pelotas de goma dura de aproximadamente 3.5 cm de diámetro



10 pelotas de “unicel” de aproximadamente 0.5 cm de diámetro (los diámetros no tienen que ser exactos, tómalos como guía para que elijas los tamaños).



### Procedimiento



- 1** Quita dos lados de la caja.
- 2** Coloca las 3 pelotas de goma y cúbrelas con la caja, de manera que no puedas verlas.
- 3** Por uno de los lados que quitaste a la caja lanza una a una las pelotas de unicel.



### Observa

Cuando lanzas las pelotas de unicel, algunas de ellas rebotan. Eso ocurre porque debajo de la caja hay partículas sólidas muy masivas, que son las pelotas de goma.

### Explícalo

En nuestro experimento no puedes ver (desde arriba) qué hay debajo de la caja, Rutherford y sus colegas tampoco podían ver qué había dentro de la placa de oro a nivel atómico. Ellos creían que todas las partes que constituyan los átomos estaban mezcladas formando una masa sin espacios vacíos y que, por lo tanto, las partículas



que le lanzaban atravesarían la placa desviándose solo un poco, ya que son partículas que viajan muy rápido y son bastante masivas. Como ya vimos, no fue así, pues algunas rebotaban.

En nuestro experimento observamos que al lanzar las pelotas de unicel, algunas de ellas rebotan; eso ocurre porque dentro de la caja hay pelotas de goma que son grandes y pesadas. Rutherford dedujo, sin necesidad de ver lo que había dentro de la placa de oro, la presencia de una parte del átomo muy masiva (núcleo), y así cambió la idea que se tenía anteriormente sobre cómo eran los átomos.

## Encuéntralo en la Naturaleza

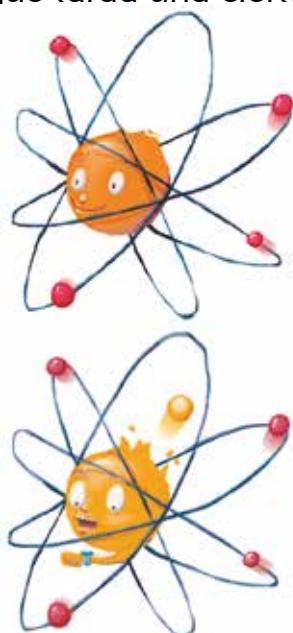
En algunos átomos, el núcleo se desintegra espontáneamente, es decir sin causa aparente, y al desintegrarse emiten radiación. A los materiales que tienen esta propiedad se les llama radiactivos. Aunque hay muchos materiales naturales que son radiactivos, estos aparecen en concentraciones muy bajas. A veces algunos de ellos están un poco más concentrados, por ejemplo el uranio, que se utiliza para producir energía eléctrica. Como la radiactividad produce mucho calor, se aprovecha para calentar agua y una vez que se logra hacer vapor, éste se usa para mover máquinas llamadas turbinas, que generan electricidad.

## Vida media y vida promedio de átomos radiactivos

En los átomos que son radiactivos, su núcleo se desintegra y el átomo se transforma en otro tipo de átomo, emitiendo algunas partículas. El tiempo que tarda una cierta cantidad de átomos en transformarse depende del tipo de átomo original. Ese tiempo se mide de dos maneras:

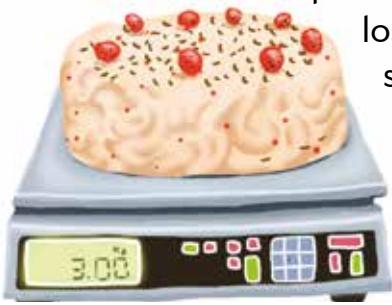
La “vida media”, también llamada “periodo de semidesintegración”, que es el tiempo en el que la mitad de cualquier cantidad de átomos se transforma. Por ejemplo, si la vida media de un átomo es de 10 segundos y si iniciamos teniendo 1000 gramos (1 kilogramo), a los 10 segundos tendríamos solamente 500 gramos (medio kilogramo) del átomo original, a los 20 segundos tendríamos 250 gramos (la mitad de medio kilogramo), en 30 segundos tendríamos 125 gramos (la mitad de la mitad de medio kilogramo) y así sucesivamente.

La otra manera es con la “vida promedio”, que es el tiempo promedio que dura un átomo sin transformarse.



## 5.8 Vida Media de un pastel

Para entender el proceso de la radiación se propone el siguiente ejercicio: Consíganse un número cualquiera de niños y un pastel. Se pesa el pastel y se parte a la mitad. Que los niños se coman una mitad del pastel y se mide el tiempo que tardaron. Se parte la otra mitad del pastel en dos y se reparte entre los niños un cuarto de



pastel. Para consumir ese cuarto de pastel se da a los niños un tiempo igual al transcurrido cuando se comieron la primera mitad del pastel. Se repite el ejercicio con un octavo de pastel, pero los niños siempre deberán utilizar el mismo tiempo, aunque en cada ocasión, la parte del pastel consumida sea más pequeña.



Se hacen las consideraciones siguientes:

- A.** Que cada gramo del pastel es el núcleo de un átomo radiactivo.
- B.** Que el ritmo al que comen los niños representa la actividad radiactiva.

Ahora vamos a calcular la vida media, la actividad radiactiva, la constante de desintegración y la vida promedio de la manera siguiente:

### Vida media

El tiempo que tardaron en comerse la primera mitad del pastel, en segundos, es la "vida media". Hágase la observación de que se utilizó siempre el mismo tiempo para consumir la mitad del pastel restante, sin importar el tamaño de la porción de que se tratara.

### Actividad radiactiva

Se saca la mitad del peso total del pastel (en gramos), y la cantidad resultante se divide entre el tiempo transcurrido en comerse la mitad

del pastel (en segundos). El resultado es la actividad radiactiva durante la primera repartición de pastel. Luego se calcula la cuarta parte del peso total del pastel y la cantidad resultante se divide entre el tiempo transcurrido en comerse los tres cuartos de pastel (en segundos). El resultado es la actividad radiactiva para las dos primeras reparticiones de pastel y así, sucesivamente, se puede seguir calculando. Como se puede ver, al principio la actividad radiactiva es muy grande y al final es muy pequeña.



## Constante de desintegración

La constante de desintegración la podemos aproximar al dividir el promedio de las actividades radiactivas, entre el promedio de los pesos de las porciones de pastel en gramos. Entre más particiones de pastel usemos, mejor. En el caso de los materiales radiactivos, considera que un gramo de uranio contiene más de dos mil quinientos cuatrillones de átomos (es decir, 25 seguido por 26 ceros), por eso, para calcular la constante de desintegración se utilizan herramientas matemáticas más complejas, que permiten considerar un número infinito de particiones.

## Vida promedio

Es el tiempo promedio que el núcleo de un átomo radiactivo permanece antes de desintegrarse y se calcula al dividir 1 entre la constante de desintegración. Hágase la observación de que la vida promedio es distinta que la vida mitad.

# Cálculo de la edad de la Tierra obtenida por medio de material radiactivo

La manera más moderna de conocer la edad de la Tierra es utilizando los materiales radiactivos naturales que hay en las rocas. El primer científico que usó con éxito este método para ponerle edad en millones de años (Ma) a las capas de roca de la Tierra fue Arthur Holmes.

Actualmente conocemos la vida promedio de muchos materiales radiactivos que hay en las rocas, así que los científicos solo tienen que buscar esos materiales y analizarlos para poder calcular cuándo se formaron las rocas que los contienen. Durante varias décadas ellos buscaron las rocas más antiguas para obtener su edad, pero se dieron cuenta de que las rocas que había al principio de la formación de la Tierra ya no estaban, porque nuestro planeta no se está quieto y esas rocas ya habían sido destruidas.

Entonces se les ocurrió buscar un pedazo de material parecido al que se juntó para formar la Tierra.

Ese material son los meteoritos, así que se recolectaron los más posibles y se sacaron sus edades. Uno de los meteoritos más antiguos cayó en Allende, Chihuahua, y dio cerca de 4567 millones de años (4 567 000 000 años). Aún se sigue debatiendo para dar más exactitud a la edad del nacimiento de nuestro planeta, considerando que quedó constituido decenas de millones de años después de que se formaron esos meteoritos. Gracias a la radiactividad se puede saber la edad de las montañas, de los océanos, de las cavernas, de los volcanes, entre muchas otras cosas y, por fin, actualmente se tiene una idea bastante clara de la verdadera edad de la Tierra. Hoy sabemos que es cercana a 4540 millones de años.





# Indice Temático

## A

- Aceleración . . . . . 40  
Aceleración de la gravedad . . . . . 40  
Acuífero . . . . . 52  
Acuíferos . . . . . 59  
Ágata . . . . . 152  
Agua . . . . . 24  
Agua dulce . . . . . 59  
Agua salada . . . . . 59  
Aire . . . . . 24  
Alaska . . . . . 58  
Albedo . . . . . 80  
Alejandría . . . . . 104  
Allende, Chihuahua . . . . . 161  
Altitud . . . . . 59  
Amplitud . . . . . 120  
Antártida . . . . . 62  
Arcillas . . . . . 122  
Arcillas expansivas . . . . . 126  
Arena . . . . . 122  
Arquímedes . . . . . 32  
Arquímedes . . . . . 43  
Asuán . . . . . 104  
Atlántico . . . . . 86  
Atmósfera . . . . . 24  
Átomo . . . . . 148  
Atterberg, Alberto . . . . . 124

## B

- Baja California . . . . . 48  
Balance de fuerzas . . . . . 52  
Balanza . . . . . 53  
Biblioteca de Alejandría . . . . . 101  
Brújula . . . . . 115

## C

- Calcedonia . . . . . 152  
Calcio . . . . . 59  
Caliza . . . . . 59  
Calor . . . . . 56

- Cámaras magmáticas . . . . . 52

- Campos geotérmicos . . . . . 145

- Canadá . . . . . 86

- Capacidad calorífica . . . . . 84

- Carbono . . . . . 28

- Casquetes polares . . . . . 62

- Celda conectiva . . . . . 50

- Cenit . . . . . 111

- Ciclón . . . . . 90

- Círculo . . . . . 81

- Circunferencia de la Tierra . . . . . 102

- Clima . . . . . 43, 56

- Cloro . . . . . 148

- Cloruro de sodio . . . . . 59, 151

- Conde de Buffon . . . . . 142

- Conducción . . . . . 56

- Conductividad térmica . . . . . 144

- Constante de desintegración . . . . . 160

- Convección . . . . . 56

- Corrientes atmosféricas . . . . . 56

- Corrientes marinas . . . . . 28

- Corteza . . . . . 48

- Corteza continental . . . . . 48

- Corteza oceánica . . . . . 65, 66

- Cotopaxi . . . . . 88

- Crestas . . . . . 120

- Cristal . . . . . 148

- Cristales . . . . . 148

- Cristalización . . . . . 151

- Croll, James . . . . . 153

## D

- Da Vinci, Leonardo . . . . . 153

- Deformación elástica . . . . . 30

- Densidad . . . . . 19, 30

- Denso . . . . . 45

- Descompresión . . . . . 52

- Diámetro . . . . . 46

- Dilatación . . . . . 24

- Dióxido de carbono . . . . . 59

- Disolución . . . . . 149

- Disoluciones . . . . . 149

- Disoluciones sólidas . . . . . 149

## E

- Eclíptica . . . . . 105

- Ecuador . . . . . 26, 38, 58

- Edad absoluta . . . . . 133

- Edad relativa . . . . . 133

- Efecto invernadero . . . . . 80

- Egipto . . . . . 107

- Eje de rotación . . . . . 78

- El efecto Coriolis . . . . . 89

- Electrones . . . . . 156

- Elipse . . . . . 75

- Energía . . . . . 32, 119

- Energía eléctrica . . . . . 145

- Ensenada . . . . . 59

- Equinoccios . . . . . 105

- Eratóstenes . . . . . 101, 104

- Erosión . . . . . 153

- Escala . . . . . 114

- Escocia . . . . . 86

- Esfuerzo . . . . . 127

- Estaciones . . . . . 76

- Estadio . . . . . 105

- Estado del tiempo . . . . . 69

- Estrella Polar . . . . . 96

- iEureka! . . . . . 43

- Europa . . . . . 86

- Evaporación . . . . . 146, 151

- Evaporitas . . . . . 152

- Expansión del fondo oceánico . . . . . 66

## F

- Falla de San Andrés . . . . . 66

- Flotabilidad . . . . . 52

- Flotan . . . . . 45

- Flotar . . . . . 58

- Fluido . . . . . 32, 49

Focos . . . . .	76
Fósil . . . . .	139
Foucault, Jean Bernard León .	69
Frecuencia . . . . .	120
Fuerza de gravedad . . . . .	38
Fuerzas . . . . .	38
<b>G</b>	
g/cm <sup>3</sup> . . . . .	46
Galileo . . . . .	19
Gas . . . . .	24
Gas Licuado de Petróleo . . .	47
Gas natural . . . . .	47
Gases . . . . .	47
Geiger, Hans . . . . .	156
Genes . . . . .	135
Genética . . . . .	135
Geofísica . . . . .	119
Geografía . . . . .	114
Geología . . . . .	117, 141
Geotecnia . . . . .	122
Giroscopio . . . . .	71
Gnomon . . . . .	111
Golfo de California . . . . .	48
Gran Transportador Oceánico .	86
Grava . . . . .	122
Gravedad . . . . .	34
<b>H</b>	
Halita . . . . .	151
Hemisferio norte . . . . .	38, 76
Hemisferio sur . . . . .	76
Herencia . . . . .	135
Hidráulico . . . . .	32
Hidrosfera . . . . .	48
Hielo . . . . .	58, 62
Holmes, Arthur . . . . .	153
Humedad . . . . .	69
<b>I</b>	
Incompresibles . . . . .	54
Invierno . . . . .	76
Isótopos radiactivos . . . . .	66
<b>J</b>	
Joly, John . . . . .	146
Júpiter . . . . .	21
<b>K</b>	
kg/l . . . . .	58
Kilogramo fuerza . . . . .	46
<b>L</b>	
La ley de gravedad . . . . .	38
La resistencia . . . . .	56
Latitud . . . . .	59, 86
Lava . . . . .	52
Leclerc, Georges Louis . . . .	142
Ley de Boyle . . . . .	30
Ley de Charles y Gay-Lussac .	24
Ley de dilatación de los gases de	
Gay-Lussac . . . . .	24
Límite de saturación . . . . .	151
Límites de consistencia . . . .	124
Limo . . . . .	122
Líquido . . . . .	124
Líquidos . . . . .	45, 54
Litosfera . . . . .	64
Longitud de onda . . . . .	120
Longitudes . . . . .	99
Lord Kelvin . . . . .	142
Luna . . . . .	49
Lyell, Charles . . . . .	139, 141
<b>M</b>	
Magma . . . . .	52
Mal de montaña . . . . .	54
Manto . . . . .	48
Mapa . . . . .	114
Mares . . . . .	59
Marsden, Ernest . . . . .	156
Masa . . . . .	19
Materia . . . . .	46
Materiales radiactivos . . . .	161
Mecánica de Suelos . . . . .	125
Mendel, Gregor . . . . .	135
Meridianos . . . . .	104
Meteoritos . . . . .	66, 161
Mexicali . . . . .	59
Méjico . . . . .	48
Mezcla . . . . .	155
Moléculas . . . . .	32, 54, 56
Montaña . . . . .	43
<b>N</b>	
Nevado de Colima . . . . .	88
Newton . . . . .	40
Nieve . . . . .	80
Nitrógeno . . . . .	24
Nivel del mar . . . . .	24, 26, 59, 62
Nubes . . . . .	80
Núcleo . . . . .	48
<b>O</b>	
Océano . . . . .	84
Océano Ártico . . . . .	62
Océano Pacífico . . . . .	48
Océanos . . . . .	43, 58
Ondas . . . . .	30
Ónix . . . . .	152
Oro . . . . .	64
Oxígeno . . . . .	24, 27
<b>P</b>	
Paralelos . . . . .	104
Parménides . . . . .	104
Partículas . . . . .	158
Pascal . . . . .	32
Péndulo . . . . .	21, 71

Péndulo de Foucault . . . . .	71	Roca . . . . .	127	Trópico de Cáncer . . . . .	105
Península . . . . .	48	Rosa de vientos . . . . .	114	Tropósfera . . . . .	26
Periodo . . . . .	120	Rotación . . . . .	69	<b>U</b>	
Periodo de semidesintegración	158	Rotación de la Tierra . . . . .	69	Urano . . . . .	158
Peso . . . . .	26, 38	Rusia . . . . .	86	Ussher, James . . . . .	135
Peso del agua . . . . .	26	Rutherford, Ernest . . . . .	156	<b>V</b>	
Pico de Orizaba . . . . .	88	<b>S</b>		Vacío . . . . .	156
Placa de Cocos . . . . .	48, 66	Sal . . . . .	59, 148	Vaivén . . . . .	74
Placa de Norteamérica . . . . .	48	Sal gema . . . . .	151	Valles . . . . .	120
Placas . . . . .	48	Sedimentación . . . . .	155	Vapor . . . . .	55
Placas tectónicas . . . . .	50, 59	Sedimento . . . . .	155	Vapor de agua . . . . .	24
Plástico . . . . .	124	Sedimentos . . . . .	122, 153	Velocidad . . . . .	34
Plata . . . . .	64	Sicilia . . . . .	64	Velocidad de caída . . . . .	49
Polo norte . . . . .	62	Sierra Madre Oriental . . . . .	59	Velocidad de rotación de la Tierra	95
Polo sur . . . . .	62	Sílice . . . . .	152	Verano . . . . .	76
Polos . . . . .	38	Siracusa . . . . .	64	Vida media . . . . .	158
Popocatépetl . . . . .	88	Sismo . . . . .	48	Vida mitad . . . . .	160
Precipitación . . . . .	151	Sismos . . . . .	52	Vida promedio . . . . .	158, 160
Presión . . . . .	24	Sistema Internacional de Unidades	106	Vientos . . . . .	28
Primavera . . . . .	58	Sodio . . . . .	148	Viscosidad . . . . .	49
Principio de Arquímedes . . . . .	32	Sol . . . . .	65	Volcán . . . . .	52
Principio de Pascal . . . . .	32	Sólido . . . . .	65, 124	Volumen . . . . .	19, 24
Propagación de ondas . . . . .	121	Solsticio . . . . .	105	Vulcanismo . . . . .	66
Ptolomeo Evergetes . . . . .	103	Solución . . . . .	151		
Punto de fusión . . . . .	52	Solución saturada . . . . .	151		
Puntos cardinales . . . . .	114	Suelo . . . . .	54, 122		
<b>Q</b>		<b>T</b>			
Querétaro . . . . .	93	Tabla del Tiempo Geológico .	141		
<b>R</b>		Tamaulipas . . . . .	111		
Radiación . . . . .	56	Tectónica de placas . . . . .	66		
Radiación solar . . . . .	65	Temperatura . . . . .	24		
Radiactividad . . . . .	158	Temperatura de fusión . . . . .	82		
Radiactivos . . . . .	158	Thomson, William . . . . .	142		
Radio . . . . .	93	Tiempo . . . . .	38, 40		
Rayos solares . . . . .	80	Tierra sólida . . . . .	48		
Rectilíneo . . . . .	93	Traslación . . . . .	69		
Registro geológico . . . . .	139	Travertino . . . . .	152		
Resistencia . . . . .	34	Triángulo . . . . .	93		

Este libro terminó de imprimirse el 30 de septiembre de 2016,  
en los talleres de Grupo Art Graph, S.A. de C.V.

con dirección en Av. Peñuelas 15-D, Col. San Pedrito Peñuelas,  
C.P. 76148, Querétaro, Qro.

El tiraje costa de 3,000 ejemplares.

Se imprimió en Offset, sobre papel couche brillante de 130 grs.  
Las fuentes utilizadas fueron Geometric 415 BT en el cuerpo de texto y

ITC Stone Informal Std para los títulos.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de Mariana Larrañaga R.







La ciencia nos permite entender el mundo que nos rodea y los experimentos científicos nos ayudan a contestar preguntas que a simple vista no podemos explicar. Este libro compila 5 de los fascículos de la serie "Experimentos simples para entender una Tierra complicada". Algunas preguntas fundamentales sobre ciencia que se responden con los experimentos de este libro son: ¿el peso determina la velocidad de caída de un cuerpo?, ¿por qué flotan los objetos?, ¿por qué objetos con la misma temperatura se sienten unos más fríos que otros?, ¿cuál es la estructura de un átomo?, ¿se puede comprobar la rotación de la Tierra sin mirar los astros?, ¿cómo se puede saber la edad de la Tierra?, ¿se puede medir la circunferencia de la Tierra con una cinta métrica? Estas preguntas las contestaron científicos de la talla de Eratóstenes, Arquímedes, Galileo, Newton y Foucault, entre otros, usando materiales que encuentras en tu casa o en tu escuela; con este libro tú también podrás contestarlas.