

# EXPERIMENTOS SIMPLES PARA ENTENDER UNA TIERRA COMPLICADA



### 3 ¡EUREKA! LOS CONTINENTES Y LOS OCÉANOS FLOTAN

Texto: Susana A. Alaniz Álvarez y Ángel F. Nieto Samaniego

Ilustración: Luis David Morán

# Universidad Nacional Autónoma de México

**Dr. José Narro Robles**  
Rector

**Dr. Eduardo Bárzana García**  
Secretario General

**Lic. Enrique Del Val Blanco**  
Secretario Administrativo

**Dr. Héctor Hiram Hernández Bringas**  
Secretaria de Desarrollo Institucional

**Dr. Carlos Arámburo de la Hoz**  
Coordinador de la Investigación Científica

**Dr. Gerardo Carrasco Núñez**  
Director del Centro de Geociencias

**Lic. David Turner Barragán**  
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

**Lic. Elisa López**  
Diseño y Formación

Primera edición, Febrero 2008  
Primera reimpresión, Agosto 2008  
Segunda reimpresión, Noviembre 2008  
Tercera reimpresión, Septiembre 2011  
Cuarta reimpresión, Noviembre 2011

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F.

Centro de Geociencias  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Boulevard Juriquilla núm. 3001, Juriquilla, Querétaro  
C.P. 76230, México

ISBN (Obra General) 978-970-32-4388-4  
ISBN 978-970-32-5410-1

*Impreso y hecho en México*

Este libro no puede ser reproducido, total ni parcialmente, por ningún medio electrónico o de otro tipo, sin autorización escrita de los editores.



# ÍNDICE

# Introducción\_3

1. Viaje al centro de la Tierra\_5
2. Bajo el agua y sin mojarse\_9
3. Cambiando de aire\_12
4. Cuando el calor se va\_14
5. En el mar la vida es más liviana\_16
6. Ahogándose en un vaso con agua\_19
7. ¿Qué pesa más?\_22
- Agradecimientos\_26
- Acerca de los autores\_27



EUREKA

¡LOS CONTINENTES Y LOS OCÉANOS  
FLOTAN!

# INTRODUCCIÓN

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.



# “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, quizá reparando un módulo espacial, la simulan estando dentro de una alberca. Prueba este experimento, que te ayudará a entender eso.

## 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.) que has juntado.

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 kg; 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.

## APLÍCALO A TU VIDA

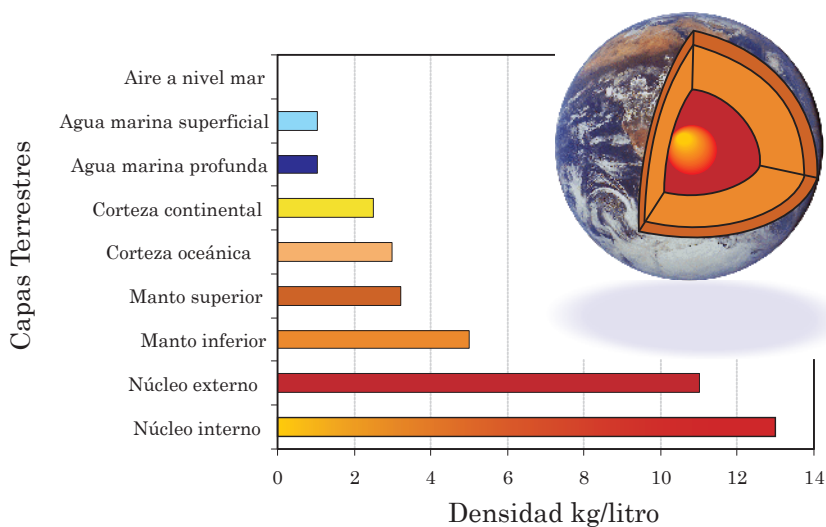
Las capas separadas por densidades las puedes observar fácilmente tanto en líquidos como en gases; por ejemplo, en un caldo de pollo, habrá verduras que floten mientras que el pollo se hunde y el vapor asciende. Conocer la densidad de los gases es importante para saber, en el caso de una fuga, si se acumularan 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.



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

Tabla 1. Densidad de materiales comunes

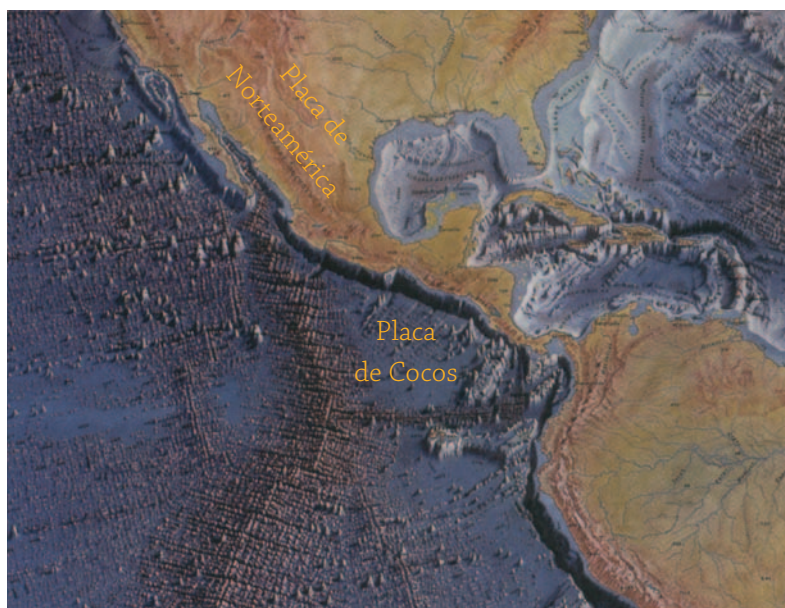
Sustancia	Densidad media [g/cm <sup>3</sup> ó kg/litro]	Sustancia	Densidad media [g/cm <sup>3</sup> ó kg/litro]
Platino	21.4	Sangre	1.6
Oro	19.3	Miel	1.42
Mercurio	13.6	PVC	1.3
Plomo	11.3	Agua de mar	1.03
Plata	10.5	Agua	1
Acero	7.85	Caucho	0.95
Hierro	7.8	Cuerpo humano	0.95
Tierra (planeta)	5.5	Aceite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



## ENCUÉNTRALO EN LA NATURALEZA

La Tierra está compuesta por capas de distinta densidad. La más ligera es, por supuesto, la atmósfera; le sigue la hidrósfera (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 ablandada 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 Cortés, 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 20 millones de años Baja California estará enfrente de la costa pacífica de Estados Unidos.





## “BAJO EL AGUA Y SIN MOJARSE”

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

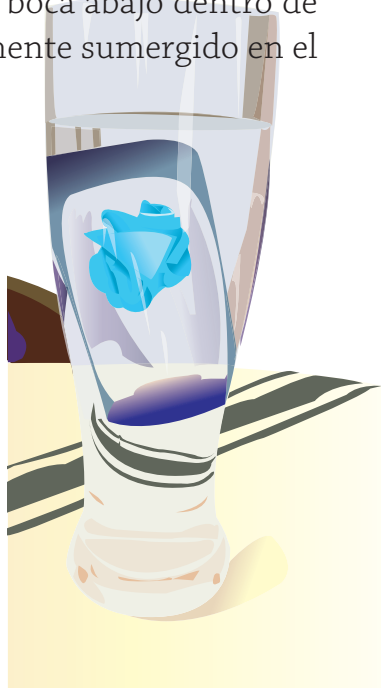
### MATERIALES

- 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 sujeta 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.

En el experimento 1 habrás notado que 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. Prueba dejar caer aquí en la Tierra un papel arrugado y un papel estirado al mismo tiempo.

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.

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**

Observa que la velocidad a la que se mueven 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.

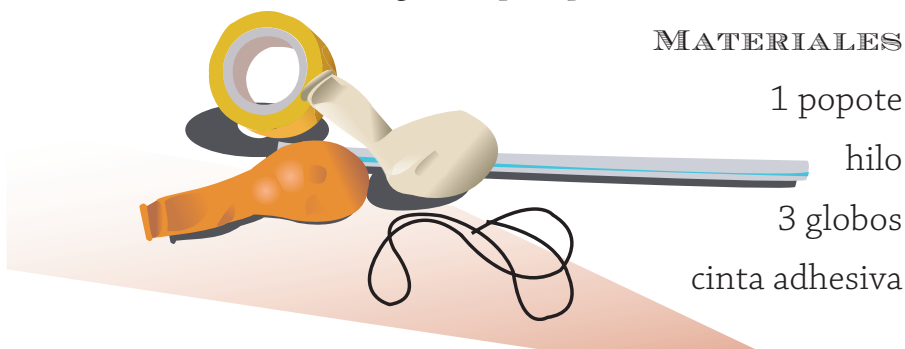
### **ENCUÉNTRALO EN LA NATURALEZA**

No es difícil 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 y 200 km de profundidad, la roca está cerca de su punto de fusión. En los pocos lugares donde la roca está fundida (generalmente por descompresión) y dentro de la Tierra la llamamos magma, y cuando el magma sale a la superficie lo 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 Popocatepetl.

# 3

## “CAMBIANDO DE AIRE”

Seguramente has escuchado que muchos atletas se entrenan en las montañas, ¿sabes por qué?



### MATERIALES

1 popote

hilo

3 globos

cinta adhesiva

### 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.

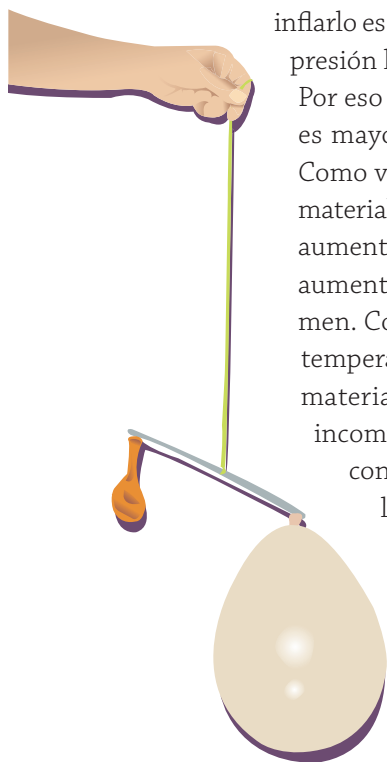


### OBSERVA

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, son ambos 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 entrenan 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  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  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.

## “CUANDO EL CALOR SE VA”



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

### MATERIALES

1 vela

1 cerillo

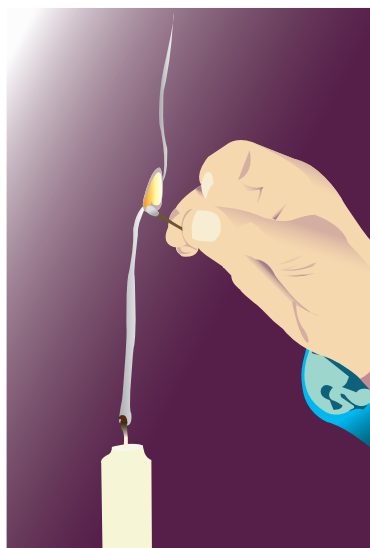
1 adulto que vigile



### 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 pabito 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.

### APLÍCALO 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 e inducida 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 enfría y continúa el ciclo. La convección, junto con la rotación de la Tierra, rigen en gran parte el movimiento del aire en la atmósfera, generando las corrientes atmosféricas que controlan el clima.



## “EN EL MAR LA VIDA ES MÁS LIVIANA”

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



### MATERIALES

2 vasos con agua

2 huevos

sal

### PROCEDIMIENTO

1) A uno de los vasos añádele  
sal hasta que no pueda  
disolverse más.

2) Introduce un huevo  
a cada vaso.

### OBSERVA

El huevo flota en el  
agua salada, mientras  
que se hunde en el vaso  
con agua simple.



### EXPLÍCALO

La densidad del huevo es un poco mayor que la del agua  
pura. Cuando al agua se le añade sal, su densidad 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 del huevo.

## APLÍCALO A TU VIDA

La densidad del cuerpo humano es un poco menor que la del agua (no es extraño, ya que el cuerpo contiene 75% 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 a 1.028 kg/litro (que es igual a  $\text{g/cm}^3$ ) y 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 considerablemente su volumen. Por esto, 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 acabo el experimento esté por debajo de  $0^\circ\text{C}$ . Así, sabemos que la densidad del agua cambia con la temperatura, la densidad máxima es a los  $4^\circ\text{C}$ , en los que alcanza su valor característico de 1kg/litro a presión atmosférica. 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  $4^\circ\text{C}$ , al alcanzar su máxima densidad, se hunde. Ascende el agua más caliente y menos densa del fondo. En contacto con el aire se enfría hasta  $4^\circ$  y vuelve a hundirse. Sólo hasta que toda el agua del lago esté a  $4^\circ\text{C}$ , el agua de la superficie puede disminuir más su temperatura. Cuando llega a  $0^\circ\text{C}$  se congela. Por debajo, el agua sigue líquida y llena de vida. Antes de que toda el agua alcance  $0^\circ\text{C}$  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  $4^\circ\text{C}$  y no a cero.

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 disuel-

ve 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 sa-

les en el mar hasta hacer su agua

salada. El cloruro de sodio

(composición química de

la sal de mesa) es el prin-

cipal 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 bióxido 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.



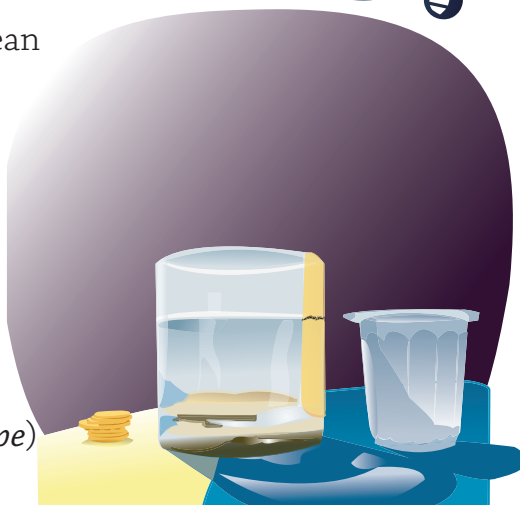
# "AHOGÁNDOSE EN UN VASO CON AGUA"

# 6.

¿Te has fijado que  
los barcos flotan aunque sean  
de hierro?

## MATERIALES

1 vaso con agua  
monedas  
1 marcador  
1 vasito de gelatina 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 de gelatina 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.

## 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.

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, esto se debe a que el peso del agua desplazada es igual al peso de las monedas añadidas. 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.

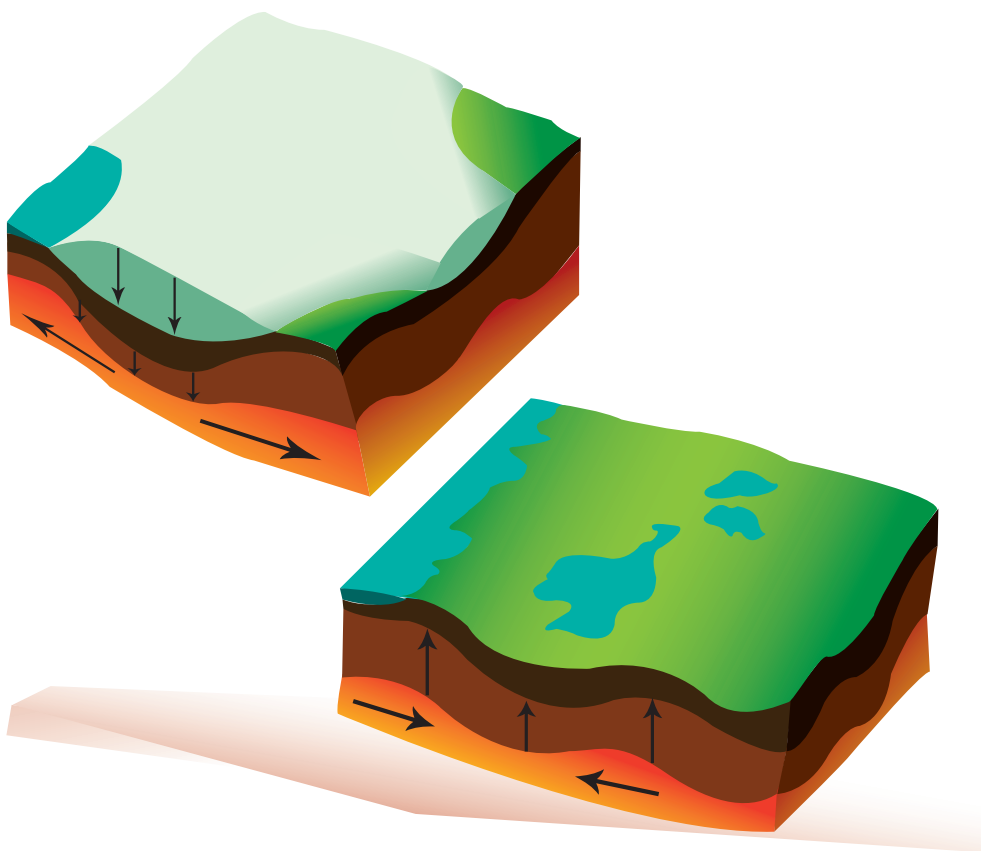
## APLÍCALO A TU VIDA

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 trastes, las personas, y sobre todo el aire incluido) 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 interglaciar 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 ella misma. 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 que fluye muy lentamente, sino también los continentes y los océanos. Esta capa es conocida como astenósfera y es más densa que la corteza terrestre, pero mucho menos viscosa.



## “¿QUÉ PESA MÁS?”

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

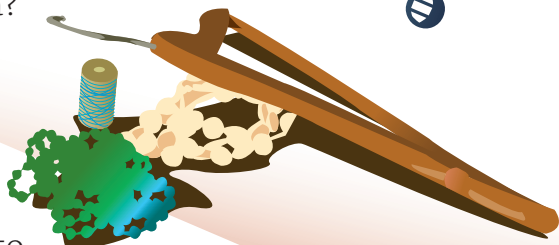


### MATERIALES

Un gancho o un resorte

Hilo

Dos 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.



Dos recipientes grandes con agua.

### PROCEDIMIENTO

1) Cuelga en cada extremo del gancho (o en un extremo del resorte) un collar; el gancho (o el resorte) 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.

## APLICADO EN LA VIDA

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 solo podía medir la diferencia de volumen, sino también 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.

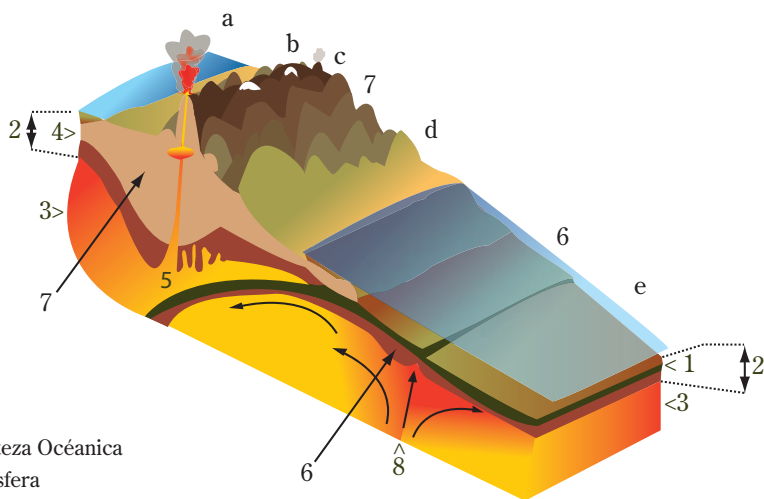
\*Nota: En nuestro lenguaje cotidiano al peso lo medimos en “kilos” y está dado por el número que marca la báscula. En lenguaje técnico, el peso debe estar en unidades de fuerza (kilogramo fuerza o gramo fuerza).

# 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), astenósfera (parte inferior del manto superior), manto inferior, núcleo líquido, núcleo sólido. La segunda clasificación ha sido muy útil para explicar las observaciones de los movimientos de placas rígidas (litósfera) sobre una capa “fluida” (astenósfera).

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, plutonismo, metamorfismo, erosión, consolidación de partículas (litificación), 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 y 45 km) es mucho más grande. El hecho de que la corteza oceánica esté hundida en promedio 3,800 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 Oceánica

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 esta temperatura depende de la presión: a mayor presión, necesita más temperatura para cambiar de estado. El ejemplo más conocido es que el agua hierve a mayor temperatura a nivel del mar que en la ciudad de México. Por eso las sopas en Puerto Vallarta (nivel del mar) 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.

## **EFFECTOS DEL CALOR INTERNO EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA**

En la astenósfera, 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 astenósfera es muy alta (aunque mucho menos que la de la corteza y de la litósfera), de tal manera que permite el movimiento, pero en periodos 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 astenósfera, 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 astenósfera, como la atmósfera y la hidrósfera, permite la transmisión del calor a través de un “fluido”, generando corrientes de convección; debido a la alta viscosidad del material de la astenósfera, el movimiento es muy lento, de algunos centímetros por año. Este movimiento de convección en la astenósfera 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 mar de Cortés. 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.



**A**rquímedes,

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 (volcanismo) y la tectónica de placas (convección térmica en la astenósfera), entre otros.

## AGRADECIMIENTOS

**L**os autores queremos agradecer a los doctores Manuel Lozano Leyva, Teresa Orozco, Marina Manea, Vlad Manea y Thierry Calmus, quienes revisaron el aspecto técnico del manuscrito; a Evangelina Rice y Adriana Myers, que verificaron que los experimentos pudieran reproducirse fácilmente, y a Jesús Silva quién nos apoyó en la parte de formación y edición técnica.

## ACERCA DE LOS AUTORES

### SUSANA A. ALANIZ ÁLVAREZ

**I**nvestigadora Titular “C” del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Obtuvo el doctorado en Ciencias de la Tierra en 1996. Pertenece a la Academia Mexicana de Ciencias y es académico de número de la Academia de Ingeniería. Ha escrito más de 55 artículos científicos sobre la deformación de la corteza superior y su relación con el vulcanismo. Es nivel III del Sistema Nacional de Investigadores. Ofrece el curso de Geología Estructural en el posgrado y en la licenciatura de Ciencias de la Tierra de la UNAM y fue editora en jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. En 2004 recibió el premio Juana Ramírez de Asbaje otorgado por la UNAM.

### ÁNGEL F. NIETO SAMANIEGO

**D**octor en Geofísica por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es profesor de posgrado y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Fue presidente de la Sociedad Geológica Mexicana, editor del volumen conmemorativo del centenario de dicha sociedad y pertenece a comités de varias revistas nacionales y extranjeras. Ha publicado más de 80 artículos sobre la teoría del fallamiento y sobre la deformación cenozoica de México. En la actualidad es investigador titular “C” del Centro de Geociencias de la UNAM en Juriquilla, Querétaro.

### LUIS DAVID MORÁN TORRES

**N**ació en el Distrito Federal en 1984. Estudió diseño gráfico y se graduó en 2009 de la Universidad del Valle de México. Ha ilustrado varios libros de divulgación para el Centro de Geociencias de la UNAM, así como para distintos proyectos museográficos y de cultura para el Gobierno del Estado de Querétaro. Ha participado en exposiciones colectivas en México y Suecia. En 2012 realizó una residencia artística en la *Cité des Arts* en París Francia. Actualmente trabaja como pintor e ilustrador independiente en la ciudad de Querétaro.

“Experimentos simples para entender una Tierra complicada. 3. ¡Eureka! Los continentes y los océanos flotan” editado por el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, **se terminó de imprimir el 04 de octubre de 2017. El tiraje consta de 5000 ejemplares**, se realizó mediante offset en papel couche de 100 g/cm<sup>2</sup>. Las fuentes utilizadas fueron Chaparral Pro y Currency en el cuerpo del texto, y Carlisle en la portada. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Elisa López Alaniz.



La impresión de este fascículo fue financiada por la  
Coordinación de la Investigación Científica de la  
UNAM



La serie “Experimentos simples para entender una Tierra complicada” está basada en la lista de los experimentos más bellos de la historia, publicada por la revista *Physics World* en septiembre del 2002. Fueron elegidos por su simplicidad, elegancia y por la transformación que provocaron en el pensamiento científico de su época.

Cada fascículo de esta serie está dedicado a uno de esos experimentos. Nuestro propósito es lograr que entiendas, a través de la experimentación, fenómenos que ocurren tanto en nuestra vida cotidiana como en nuestro planeta.

Este fascículo está dedicado al experimento de la flotabilidad de Arquímedes.

Libros de esta serie

1. La presión atmosférica y la caída de los cuerpos
2. La luz y los colores
- 3. ¡Eureka! Los continentes y los océanos flotan**
4. El clima pendiendo de un hilo
5. La Tierra y sus ondas
6. La medición de la Tierra

La serie completa la puedes descargar de la página web:  
<http://www.geociencias.unam.mx>



9 789703 254101