

EXPERIMENTOS SIMPLES PARA ENTENDER UNA TIERRA COMPLICADA



EL CLIMA PENDIENDO DE UN HILO

Experimentos: Susana A. Alaniz-Alvarez, Ángel F. Nieto Samaniego
Conversación sobre el Péndulo de Foucault: Miguel de Icaza Herrera
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

Dra. María Teresa Uriarte Castañeda
Coordinadora de Difusión Cultural

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
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

Lic. Elisa López
Diseño y Formación

Primera edición, 2008

Primera reimpresión. Noviembre 2008

Segunda reimpresión. Septiembre 2009

Tercera reimpresión. Diciembre 2009

Cuarta reimpresión. Noviembre 2011

Quinta reimpresión. Diciembre 2011

Sexta reimpresión. Agosto 2012

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

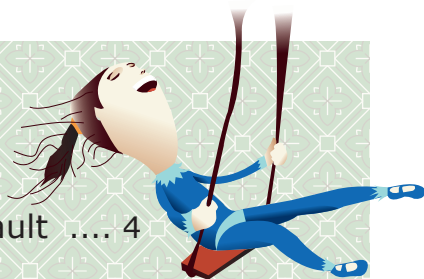
ISBN (Obra General) 978-970-32-4388-4
ISBN 978-970-32-5420-0

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
Jean Bernard León Foucault	4

Parte I: El clima pendiendo de un hilo

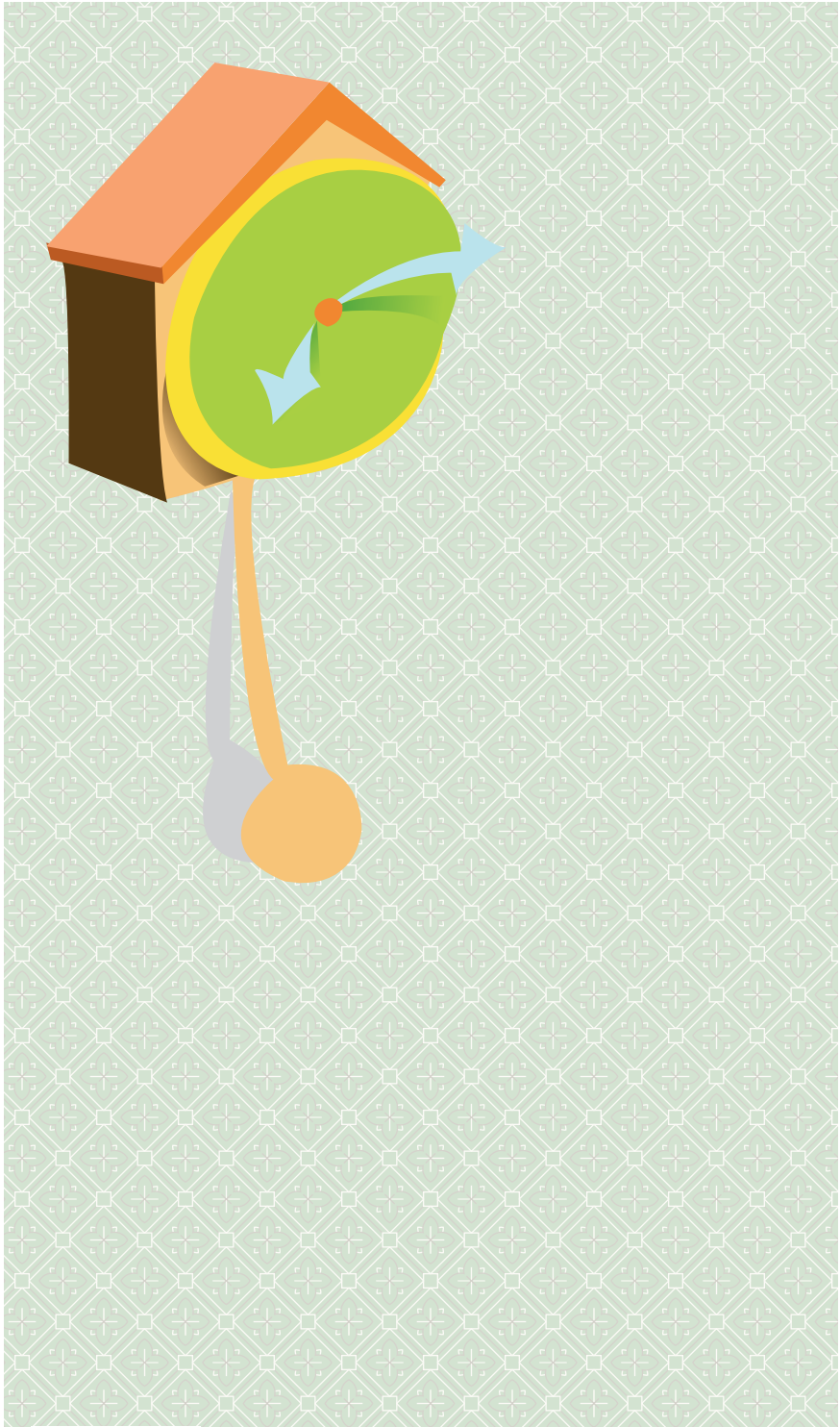
Susana A. Alaniz Álvarez y Ángel F. Nieto Samaniego

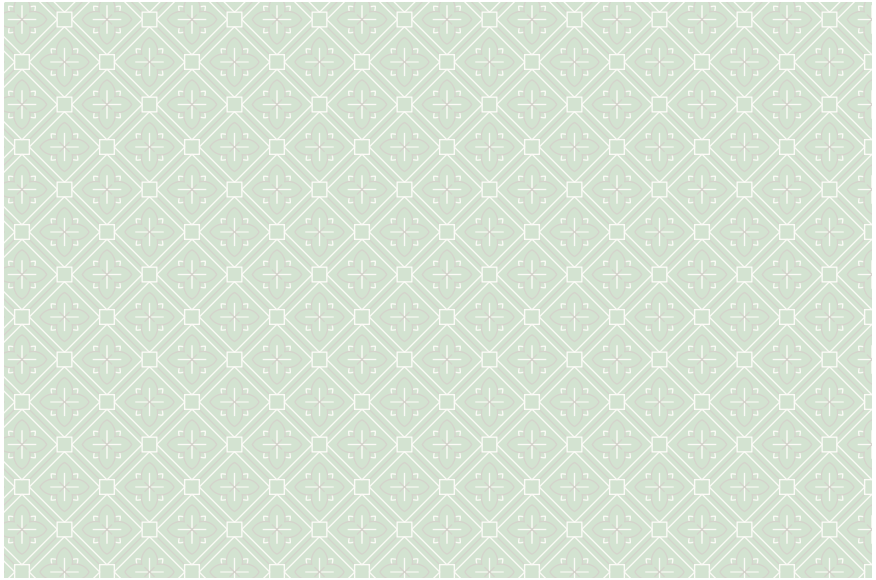
Experimento 1	5
“Para medir el tiempo me basta con un hilo y un tornillo”	
Medición del tiempo con un péndulo	
Experimento 2	7
Hagamos una elipse	
Experimento 3	9
“...y sin embargo se mueve”	
Experimento 4	11
“El paraíso lo prefiero por el clima, el infierno por la compañía”	
Tiempo de exposición al sol	
Experimento 5	14
“Persiguiendo tu propia sombra”	
Inclinación de los rayos solares	
Experimento 6	16
Calor específico ¿cuánta energía se requiere para cambiar tu temperatura?	
Experimento 7	18
La densidad como motor del agua	
Experimento 8	20
La densidad como motor del viento	
Experimento 9	22
El efecto Coriolis	

Parte II: Conversación sobre el Péndulo de Foucault

Miguel de Icaza Herrera

Agradecimientos	30
Acerca de los Autores	30

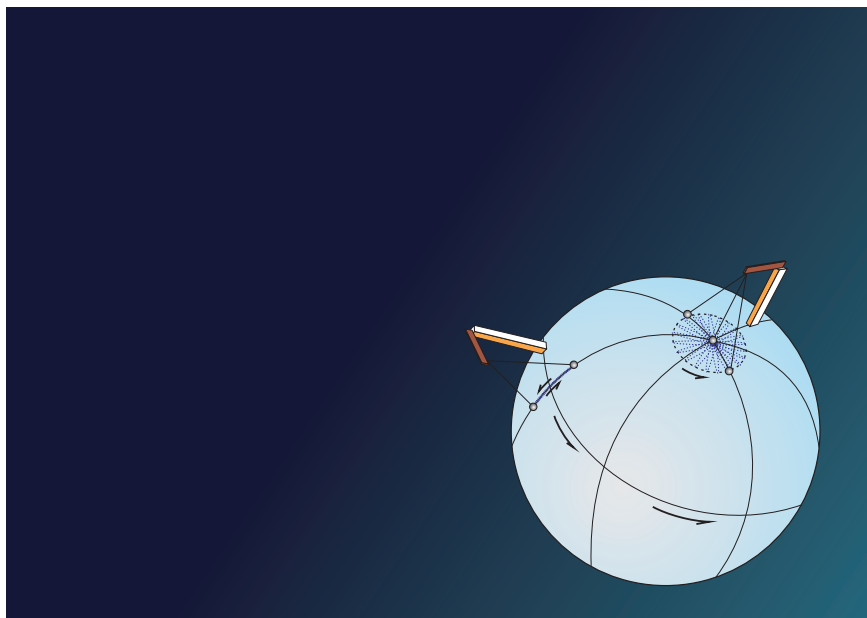




Introducción

Esta es la cuarta contribución de la serie “Experimentos simples para entender una Tierra complicada”. Aquí encontrarás más experimentos que podrás hacer en tu casa con materiales sencillos y fáciles de adquirir; en esta ocasión escogimos aquellos que están relacionados con el clima. 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 libro 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 (1819-1868) nació en París, Francia. 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 en 1850, demostró experimentalmente que la luz viaja más lentamente en el agua que en el aire (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.

“Para medir el tiempo me basta un hilo y un tornillo”

Experimento 1

Medición del tiempo con un péndulo

Materiales:

Tornillos o cualquier objeto pesado que puedas sujetar con un hilo.

Hilos de varios tamaños: 10 cm, 30 cm, 100 cm, 250 cm.

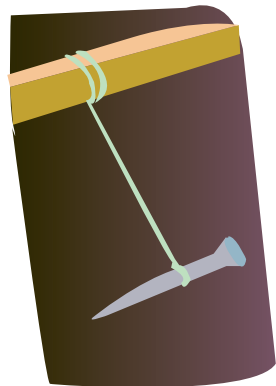
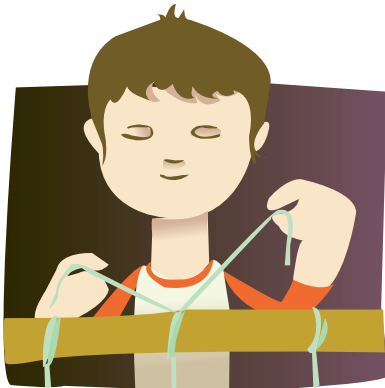
Reloj o cronómetro.

Procedimiento:

Construye varios péndulos sujetando un objeto con cierto peso en un extremo de cada hilo.

Cuélgalos de una barra horizontal (por ejemplo un barandal).

Acciona un péndulo a la vez y cuenta el tiempo que tarda en ir y venir, anota el resultado en una libreta. Vuelve a hacerlo levantando ahora más el tornillo para que tenga más amplitud de movimiento. Después haz lo mismo con péndulos de distinto largo de hilo.



Observa:

Para cada péndulo, el tiempo de recorrido entre una y otra vuelta es el mismo sin importar que la distancia recorrida por el tornillo sea mucha o poca. Con una longitud 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 tornillo y menor la amplitud de las oscilaciones.

Variantes:

También puedes poner objetos con pesos distintos y notarás que, si el largo del péndulo es el mismo, el tiempo de recorrido 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.



Aplicaciones en la vida diaria:

Un péndulo es muy útil para medir el tiempo, y sin duda su principal utilidad es para construir relojes. Nota que la lenteja (el peso) 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.



Experimento 2

Hagamos una elipse

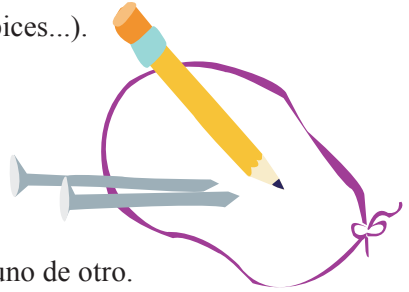
Materiales:

2 clavos (pueden ser ramas, palitos, lapices...).

1 Hilo.

Tierra o arena.

Un lápiz.



Procedimiento:

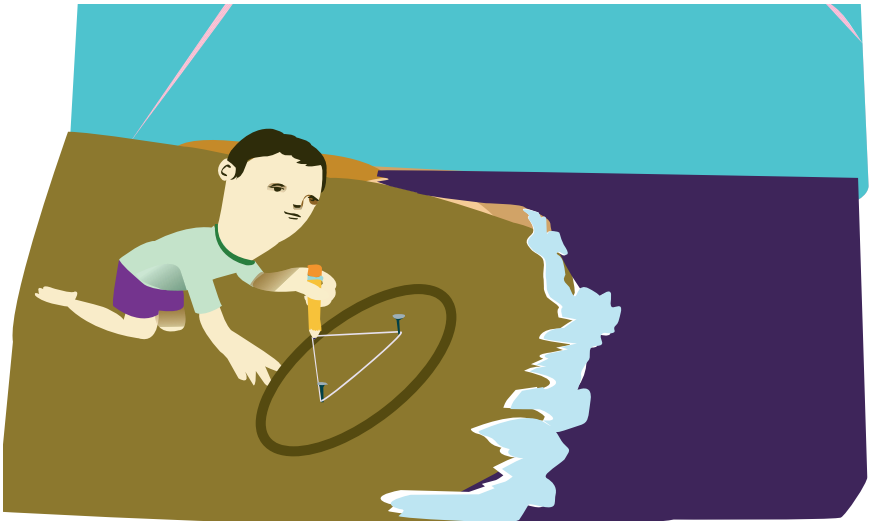
Clava en la tierra los clavos, separados uno de otro.

Amarra entre sí los dos extremos del hilo.

Coloca el lápiz adentro del hilo y forma un triángulo entre el lápiz, y los clavos. Procurando que la cuerda esté tensa, gira y dibuja la elipse.

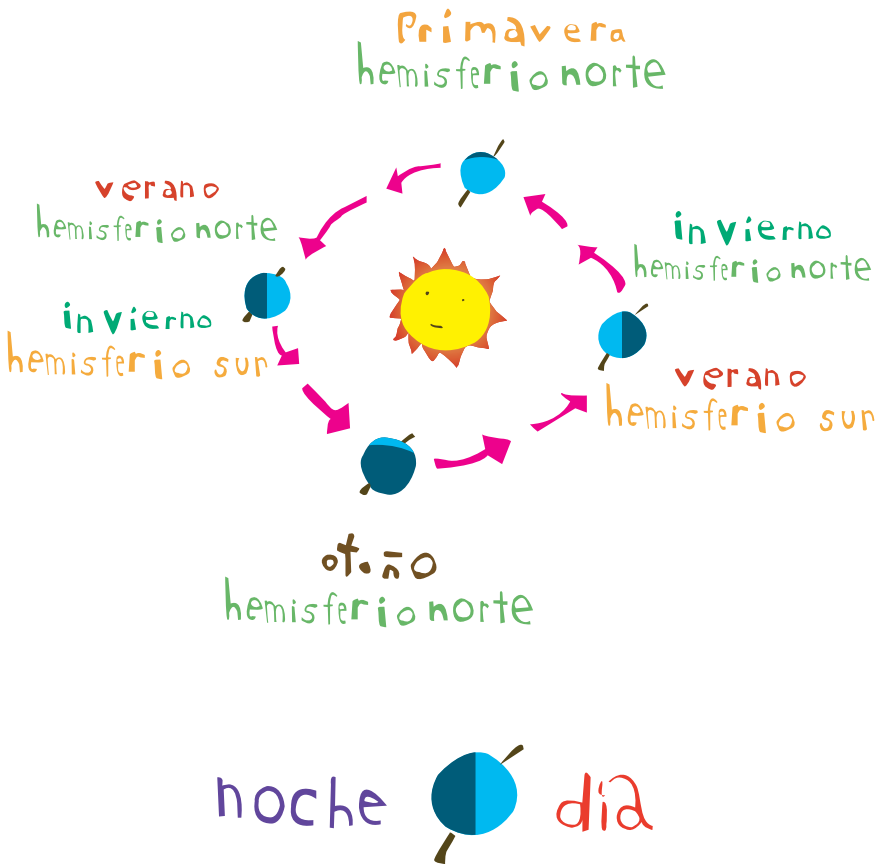
Observa:

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.



Encuétralo 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 sur es invierno).



Experimento 3

“...y sin embargo se mueve”

Materiales:

Cinta adhesiva (*masking tape*).

Una ventana.

Una noche estrellada.

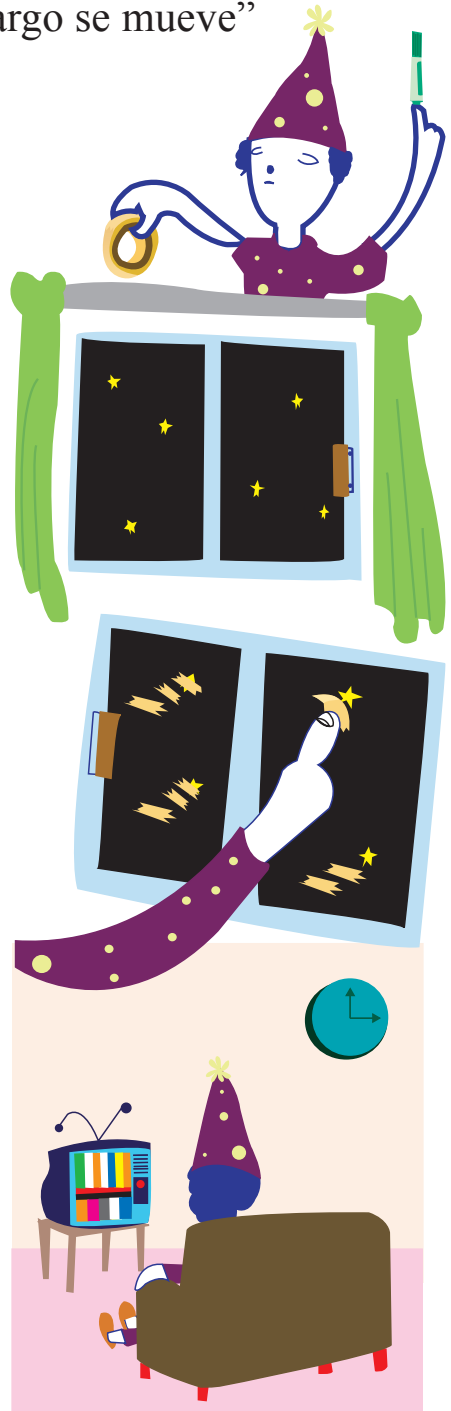


Procedimiento:

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. Cada media hora aproximadamente (por ejemplo entre programas de televisión), desde exactamente el mismo lugar, vuelve a marcar la posición de las mismas estrellas, hazlo al menos cuatro veces para completar dos horas.

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. 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.

Obsérvalo en tu vida cotidiana:

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



Trayectoria de las estrellas alrededor de la estrella polar en un cielo visto en el hemisferio norte.

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

- Mark Twain

Experimento 4

Tiempo de exposición al sol

Materiales:

Un día de sol.

Camisas de varios colores incluyendo una negra y otra blanca.

Procedimiento:

Ponte una camisa negra y sal al sol cinco minutos, luego ponte la camisa blanca y ve al sol otros cinco minutos. Prueba con camisas de varios colores y materiales.

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.

Aplicalo 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.

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.

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



Experimento 5

Inclinación de los rayos solares

Materiales:

Un foco de 60 ó 100 watts.

Socket con extensión.

Una hoja de papel y cinta adhesiva.

Un termómetro de ambiente.

Un muñequito o un gris que represente un muñequito.

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

Procedimiento:

Enrolla la hoja de papel y pégalala para hacer una pantalla, colócala sobre el foco para concentrar su luz.

Primero coloca la pantalla perpendicular a la mesa, de tal manera que el haz (el conjunto de rayos luminosos) sea un círculo, cuida que ilumine el termómetro y el muñequito.

Después de 3 minutos mide la temperatura que marca el termómetro. Te darás cuenta que el muñequito casi no tiene sombra.

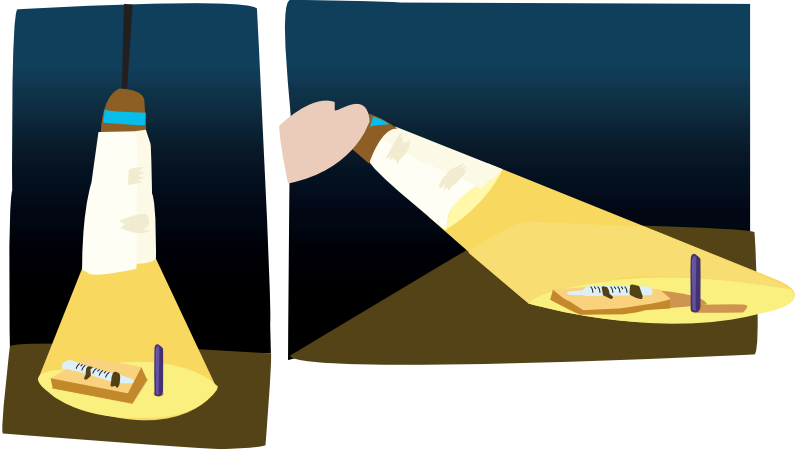
Después inclina la pantalla para que la luz dé de forma diagonal a la mesa, procurando que sea a la misma distancia que la vez anterior y que ilumine el termómetro y el muñequito. Verás que ahora la zona iluminada forma una elipse. Mide la temperatura después de 3 minutos. Notarás que el muñequito ahora tiene sombra.

Observa:

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

La sombra del muñequito será mayor mientras más horizontal esté la luz.



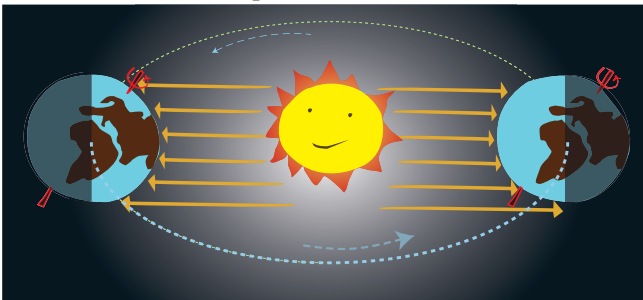


Explícalo:

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.

Encuétralo 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.



Experimento 6

Calor específico ¿cuánta energía se requiere para cambiar tu temperatura?

Materiales:

Tres vasos de plástico.

Agua, tierra, aire.

Termómetro.



Procedimiento:

Llena un vaso con agua, pon un poco de tierra en otro vaso (nota que aquí tierra está con minúscula para designar al suelo y no al planeta), y el tercero déjalo vacío (o sea con aire). Mete al refrigerador los tres vasos, sácalos a los diez minutos y tócalos con la frente, compáralos para saber cuál es el más frío. Después pon los vasos que tienen agua y tierra al sol por 15 minutos y con un termómetro mide la temperatura del agua y de la tierra.

Observa:

Cuando sacas los vasos del refrigerador podrás percibir que los vasos que contienen aire y tierra están más fríos que el que tiene agua. Cuando midas la temperatura de la tierra y del agua después de haberlos dejado 15 minutos al sol intenso podrás ver que la tierra está más caliente que el agua.



Explícalo:

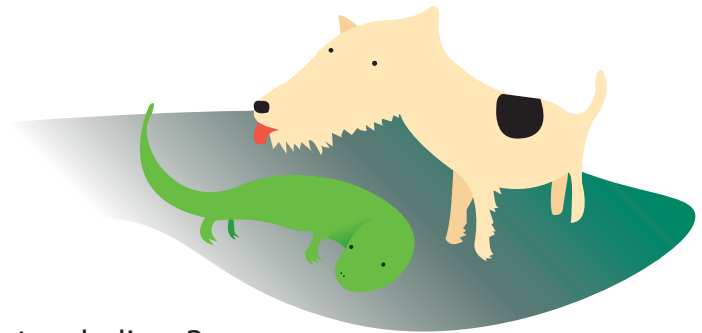
El agua, el aire y la tierra tienen distintos valores de calor específico, siendo éste una medida de cuánta energía se necesita para cambiar de temperatura un material. El agua necesita cuatro veces más energía que el aire o la tierra, por eso el vaso que tiene agua se enfría más lentamente. Lo mismo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

Aplicálo 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 $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), 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 alto calor específico.



¿Cómo afecta al clima?

Aunque el océano absorbe casi todo el calor proveniente del sol (tiene un bajo albedo), su temperatura casi no cambia por su gran calor específico. 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, donde los cambios de temperatura son muy extremos entre el día y la noche.

Experimento 7

La densidad como motor del agua

Materiales:

Colorante vegetal para alimentos.

Agua caliente.

Hielo.

Un frasco pequeño.

Una tuerca.

Un recipiente transparente grande.

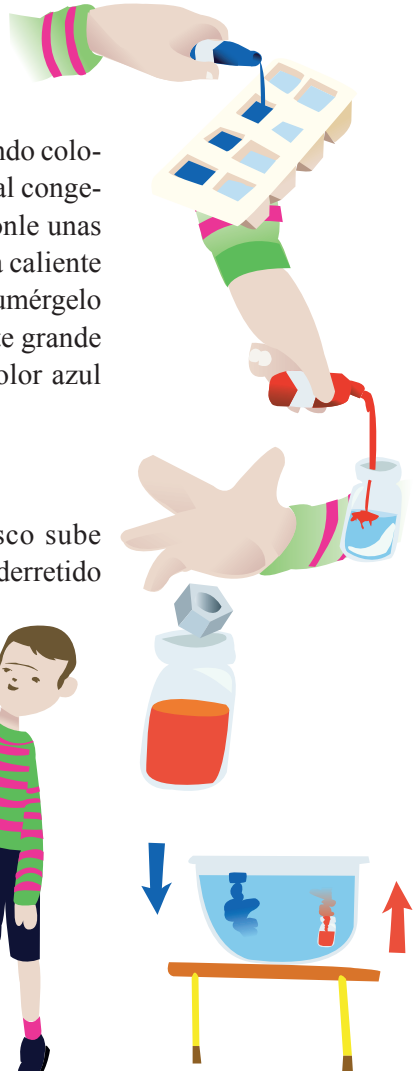


Procedimiento:

Haz unos cubos de hielo azules añadiendo colorante vegetal 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 o tornillo 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.



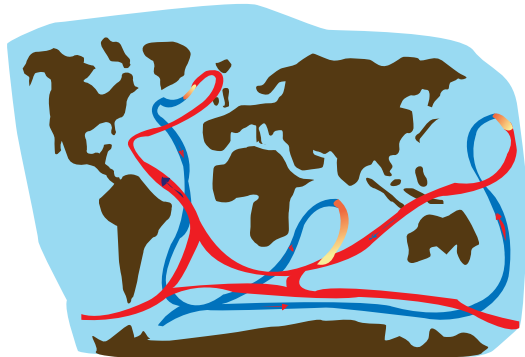
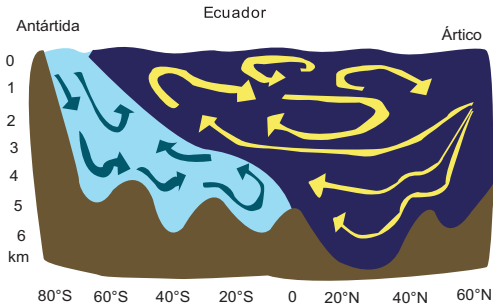
Explícalo:

El agua cuando se calienta se expande, así ocupa más espacio con la misma cantidad de agua (es decir se hace más ligera) 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.

El agua tiene su mayor densidad a 4 °C, cuando aumenta o disminuye su temperatura el agua se expande y es menos densa.

Encuétralo 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.



Gran Cinturón Transportador Oceánico

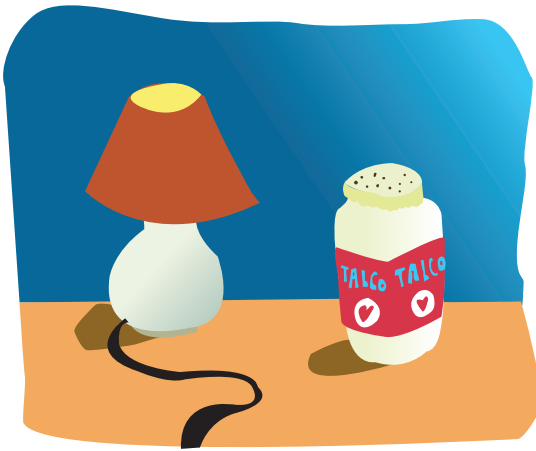
Experimento 8

La densidad como motor del viento

Materiales:

Una lámpara.

Talco, harina, polvo o cualquier material fino.



Procedimiento:

Prende la lámpara durante la noche. 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:

El aire se expande con el aumento de la temperatura disminuyendo su densidad. El aire menos denso flota en el aire más frío y se eleva. En el experimento, el aire que se eleva arrastra con él las partículas de talco. Los gases aumentan su volumen con el aumento de la temperatura y la disminución de la presión.

Variaciones:

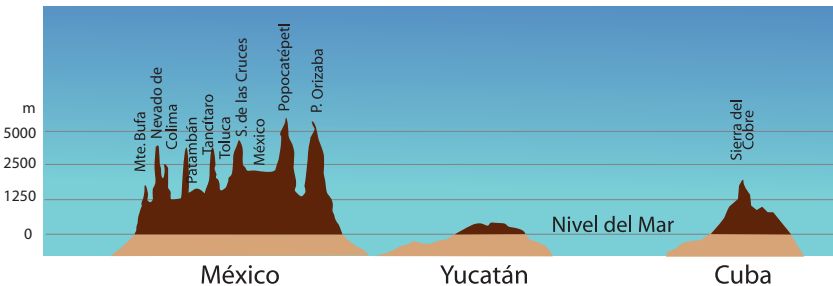
Este experimento lo puedes ver repetidamente a lo largo del día. Cuando alguien está fumando un cigarro, en un incendio o cuando hierves agua en la cocina.



¿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 enfría.

En la atmósfera de la Tierra la temperatura va disminuyendo aproximadamente $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el Popocatepetl, que está a un costado, tenga la cima nevada.



Perfil de América del Norte, de Oeste a Este, a la latitud de 20° .

Experimento 9

El efecto Coriolis

Posiblemente 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 rota. 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:

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

Una pelota o un lápiz.

Procedimiento

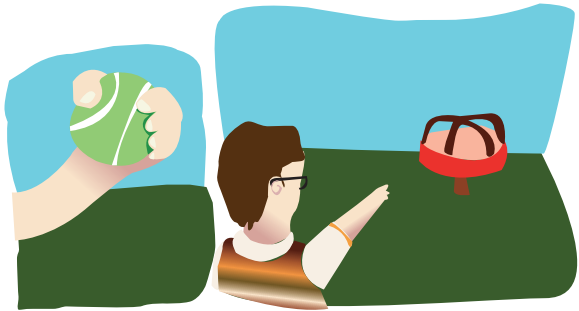
Rueda la pelota sobre el carrusel mientras éste está girando,

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.

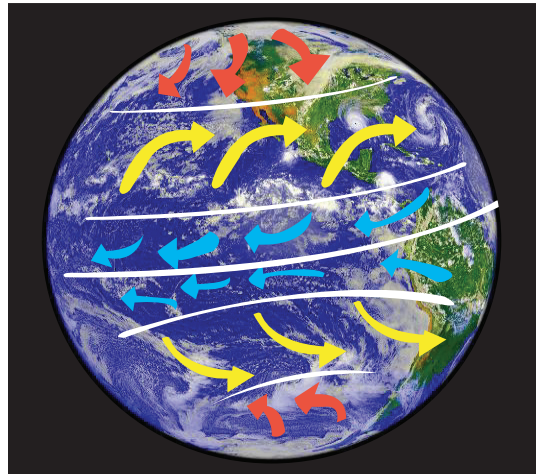


Variaciones: Si hacemos girar el disco en dirección en el sentido de las manecillas del reloj, las trayectorias serán en sentido contrario.

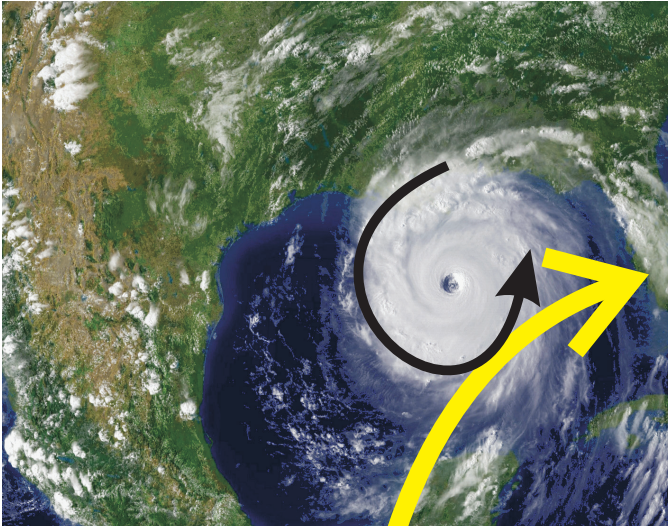
¿Cómo actúa el efecto Coriolis en la Tierra?

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

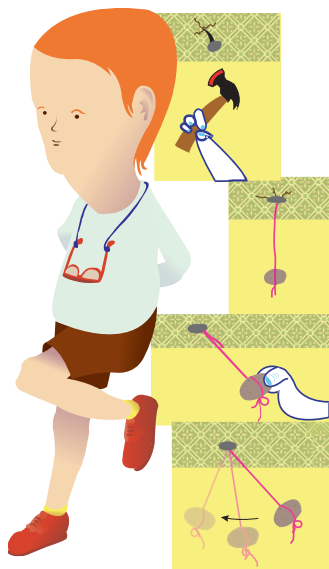
La siguiente conversación entre los niños Julia, José y Juan sucede en las instalaciones del Centro Educativo y Cultural Manuel Gómez Morín del Estado de Querétaro. Allí se encuentra instalado el más hermoso Péndulo de Foucault de México. Los niños hacen referencia a los talleres del proyecto Sophie del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM 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 moviera. 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 sujeta 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? (ver Figura 1).

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 llamaban 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’

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

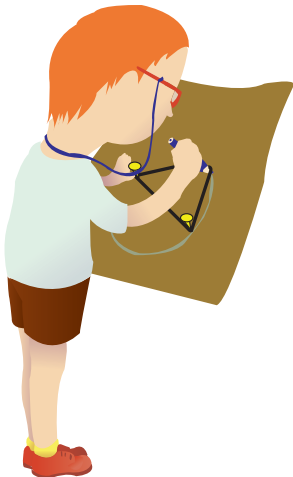


Figura 1. Cómo trazar una elipse con dos clavos, un hilo y un lápiz.

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 (ver figura 2).

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

José. ¡Tienes razón! Sí, ¡unimos 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, por que 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*.

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,

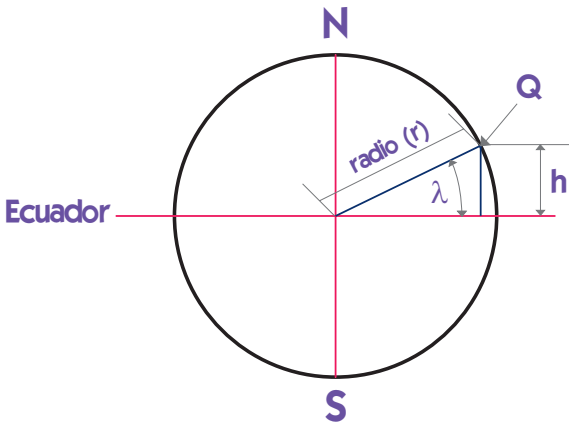


Figura 2: Posición de Querétaro en el círculo de la Tierra. El ángulo λ es lo que se conoce como latitud. Esta figura está trazada a escala: el lector puede utilizarla para medir en ella el radio r y la altura h y comprobar por sí mismo el resultado.

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 h , 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 h , es decir, r/h . 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 quieres 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 cual 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 h 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 h/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, λ 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!.

Agradecimientos:

Los autores queremos agradecer a las siguientes personas: los Dres. Juan Ramón Hernández, Manuel Lozano Leyva, Fernando García, Teresa Orozco y Gilles Levresse revisaron el aspecto técnico del manuscrito. Jesús Silva nos apoyó en la edición para la página web.

ACERCA DE LOS AUTORES

SUSANA A. ALANIZ ÁLVAREZ. Investigadora del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Estudió la licenciatura en Ingeniería Geológica, la maestría en ciencias y el doctorado en Ciencias de la Tierra en la UNAM. Pertenece a la Academia Mexicana de Ciencias y es académico de número de la Academia de Ingeniería. Ha escrito más de 35 artículos científicos sobre la deformación de la corteza superior y su relación con el vulcanismo. Es nivel II del Sistema Nacional de Investigadores. Ofrece el curso de Geología Estructural en el Posgrado de Ciencias de la Tierra de la UNAM y es Editora en Jefe de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. En 2004 recibió el premio Juana Ramírez de Asbaje otorgado por la UNAM.

ANGEL F. NIETO SAMANIEGO. Doctor 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 México, editor del volumen Conmemorativo del centenario de dicha sociedad y pertenece a comités editoriales de varias revistas científicas. Ha publicado numerosos artículos sobre la teoría del fallamiento y sobre la deformación cenozoica de México. En la actualidad es investigador titular del Centro de Geociencias de la UNAM en Juriquilla, Querétaro.

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 Ultrasonica, trasladado al Campus Juriquilla desde 1997. Es miembro del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM.

“Experimentos simples para entender una Tierra complicada. 4. El clima pendiente de un hilo” es editado por el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se terminó de imprimir el 23 de julio del 2012 en los talleres de Diseño e Impresos de Querétaro, S. A. de C.V., Av. Universidad No. 166 Ote., Centro, Querétaro, 76000, México. El tiraje consta de 10000 ejemplares, se realizó mediante offset en papel couche de 100 g/cm². Las fuentes utilizadas fueron Times New Roman y, Verdana en el cuerpo del texto, y Carlisle en la portada. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Elisa López Alaniz.



SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN



La impresión de este fascículo fue financiada por
la Secretaría de Educación del Estado de Querétaro y
el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro



SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN



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 “El péndulo de Foucault”.

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>

