



EXPERIMENTOS SIMPLES PARA ENTENDER UNA TIERRA COMPLICADA

LA TIERRA

Y SUS ONDAS



Texto: Juan Martín Gómez González y Susana A. Alaniz Álvarez
Ilustración: J. Jesús Silva Corona y Elisa López

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. Noviembre 2008
Primera reimpresión. Septiembre 2009
Segunda reimpresión. Septiembre, 2011
Tercera reimpresión. Diciembre 2011
Cuarta 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 978-607-2-00246-3

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.

**“Experimentos simples
para entender una Tierra
complicada”**

La Tierra y sus ondas

Índice

Introducción

pag. 5

Ondas en la vida diaria

pag. 6

Propiedades de las ondas

pag. 6

Ondas que viajan en el agua: olas y tsunamis

pag. 9

Ondas que viajan en sólidos: los sismos

pag. 14

Ondas que viajan en el aire: el sonido

pag. 18

Ondas que no necesitan de un medio para propagarse: las ondas electromagnéticas

pag. 20

Algunos aportes de Thomas Young (1773-1829)

pag. 30

Agradecimientos

pag. 31

Acerca de los autores

pag. 32

INTRODUCCIÓN

A los primeros hombres que habitaron la Tierra muchos fenómenos de la naturaleza les causaban sorpresa e incluso miedo. Sus explicaciones eran simples y, en ocasiones, hasta fantasiosas. Conforme mejoraron su conocimiento del mundo también modificaron su manera de explicarlo.

Con el tiempo, el conocimiento fue mejorando y las observaciones de la naturaleza siguieron un orden basado en lo que se conoce como el método científico. Pese al rigor que exige dicho método, ello no implica alejarse de la elaboración de hipótesis y descripciones sencillas. De esta forma, una vez que se ha entendido el fenómeno, el ser humano busca reproducirlo y con el tiempo construir modelos cada vez más completos y elaborados. Un ejemplo es el avión, cuyo primer concepto, el ornitóptero, de Leonardo Da Vinci, se trataba de una especie de aeroplano que batía sus alas mecánicamente. Nadie se imaginaba, en su momento, que su idea evolucionaría tanto hasta llegar a la versión actual de los aviones modernos.

En este fascículo abordamos la sobreposición de ondas en la que estuvo basado el análisis de las características de la luz. Este concepto fue básico para saber si la luz se comportaba como partículas o a manera de ondas. Hoy en día se sabe que ambos comportamientos son parte de la luz. Thomas Young fue quien demostró que la luz se comporta como ondas, con base en el estudio del fenómeno de interferencia. Esta demostración forma parte de los diez experimentos más bellos de la física. En este fascículo se busca mostrar la similitud que existe entre el comportamiento de las ondas que componen la luz con las ondas de otros fenómenos que ocurren en la Tierra.

LAS ONDAS EN LA VIDA DIARIA

Alrededor del ser humano existen muchos hechos en los que intervienen ondas, como los que se producen cuando se toca un instrumento de música o cuando ocurre un sismo. En la música, cuando se hacen vibrar las cuerdas de una guitarra, la energía que se aplica al rasgar las cuerdas se propaga en forma de ondas que viajan en diferentes direcciones. Algo similar ocurre en el terreno con las vibraciones provocadas por los terremotos, las cuales se esparcen por toda la Tierra. También en la vida diaria las ondas son parte de la radio, televisión, teléfonos caseros y celulares, hornos de microondas, aparatos médicos, etcétera. En todos ellos hay una fuente que genera ondas, las cuales son una forma de energía que viaja de un lado a otro y sus efectos pueden ser muy variados.

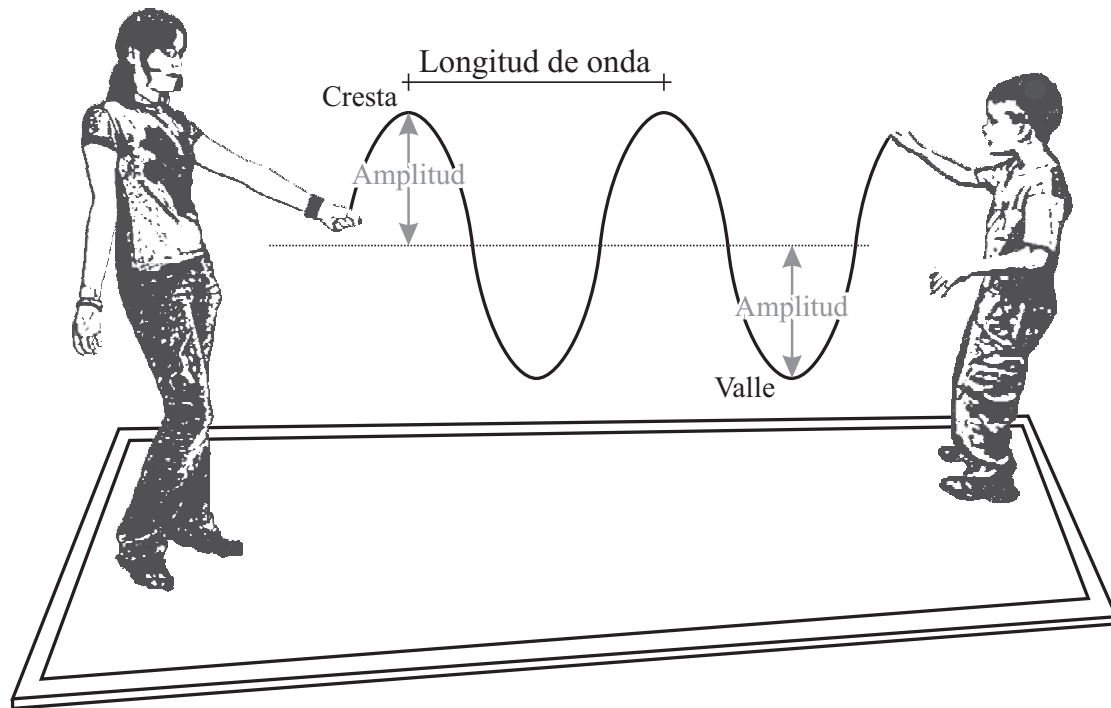
No importa de qué forma hayan sido generadas las ondas, éstas guardan algunas similitudes en su comportamiento. Dichas similitudes han permitido entender, por ejemplo, el comportamiento de la luz al observar las ondas en el agua. Cómo bien sabes, la luz viaja a gran velocidad y esto impide apreciar su comportamiento fácilmente.

Seguramente has visto que las ondas chocan entre sí y se “sobreponen”. Este comportamiento se llama interferencia, la cual también está relacionada con efectos multicolores, como la luz reflejada en las películas de las burbujas de jabón, en las películas delgadas de aceite flotando sobre agua, o en la superficie de un CD. Algunos de estos fenómenos los veremos aquí y comprobaremos el efecto de interferencia entre ondas mediante varios experimentos.

PROPIEDADES DE LAS ONDAS

Una onda, desde el punto de vista más simple, es una perturbación que se mueve con el paso del tiempo, e implica un transporte de energía. La onda puede repetirse varias veces en el mismo lugar durante cierto tiempo (p. ej., el sonido de la nota de un violín), o bien, puede presentarse de modo no repetitivo (p. ej., el sonido de una explosión o la sacudida de una cuerda con un extremo libre).

Si agitamos una cuerda la veremos como una línea que sube y baja continuamente. En el caso de la luz o el sonido no es tan evidente este movimiento porque el tamaño de las ondas es varios millones de veces más pequeño que en la cuerda.

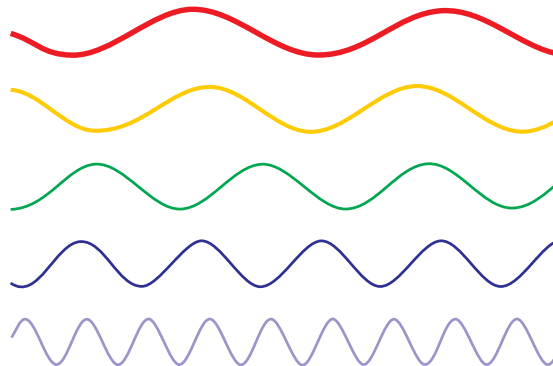


Antes de empezar con los experimentos, vamos a darte el nombre de las partes más importantes de las ondas. El punto más alto de cada onda se llama **cresta** y el más bajo **valle**; la distancia entre éstos al punto “cero” de la onda (posición antes de la perturbación) se conoce como su **amplitud**. La distancia entre dos crestas o entre dos valles se conoce como **longitud de onda**. Si cuentas las crestas (o valles) de una onda que pasa frente a ti en un segundo, por ejemplo en el agua o en un osciloscopio, conocerás su **frecuencia**.

Las diferencias en las características de las ondas se pueden percibir fácilmente en el sonido y la luz. Por ejemplo, en la música, una frecuencia alta está asociada con un tono agudo, como el que emite un violín; mientras que una frecuencia baja se asocia con un sonido grave, como el emitido por un contrabajo. Si la amplitud es alta, la intensidad del sonido (volumen) también. En el caso de la luz, la frecuencia, o la longitud de onda, está asociada con el color; mientras que la amplitud con su intensidad, es decir, si es más o menos brillante. La relación entre frecuencia y longitud de onda se verá más adelante.

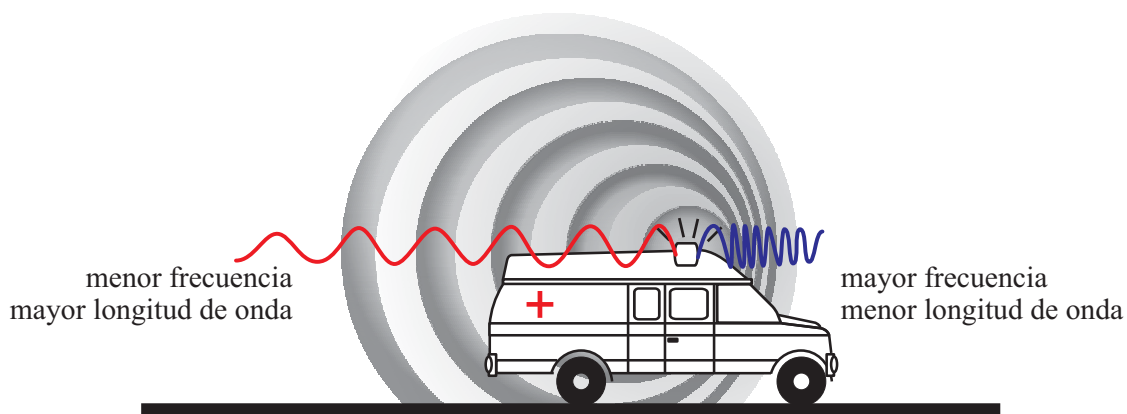
La velocidad de las ondas no cambia en el medio en el que se propaga, pero sí cuando cambia de medio; algo similar a lo que te ocurre cuando corres de una zona con cemento a otra con arena y luego al agua, cada vez será más lenta tu carrera. Por ejemplo, las ondas de sonido viajan mucho más rápido en líquidos y sólidos que en el aire -hasta 5 veces más rápido en el agua y hasta 10 veces más rápido en el acero-.

menor frecuencia - mayor longitud de onda



mayor frecuencia - menor longitud de onda

Por otro lado, cuando la velocidad de la onda es constante, si se aumenta la frecuencia, disminuirá la longitud de onda y al contrario, si se aumenta la longitud de onda, entonces disminuirá la frecuencia. Por ejemplo, cuando se acerca una ambulancia hacia ti escuchas la sirena muy aguda, pues las ondas sonoras disminuyen su longitud de onda, aumentando su frecuencia, y por eso el sonido se va haciendo más agudo. Mientras que cuando la ambulancia se aleja, las ondas al propagarse aumentan su longitud de onda, disminuyendo su frecuencia, y el sonido se vuelve grave.



ONDAS QUE VIAJAN EN EL AGUA:

Olas y tsunamis

Te habrás fijado que al tirar piedras en un estanque o lago se forman círculos que crecen a partir del mismo centro (concéntricos), se trata de ondas que viajan. En el siguiente experimento aprenderemos un poco sobre cómo se forman tales ondas y la forma que adquieren. Presta atención al momento en que dos ondas pasen al mismo tiempo por un lugar, ya que a esto se le conoce como interferencia.

Experimento 1

Material:

- 1 Recipiente con agua.
- 2 Popotes.

Procedimiento:

Primero utilizaremos un popote: coloca uno de sus extremos en tu boca y el otro extremo en la superficie del agua; ahora sopla suavemente a través de él. Para que el ejercicio funcione mejor, el popote sólo debe rozar la superficie del agua.

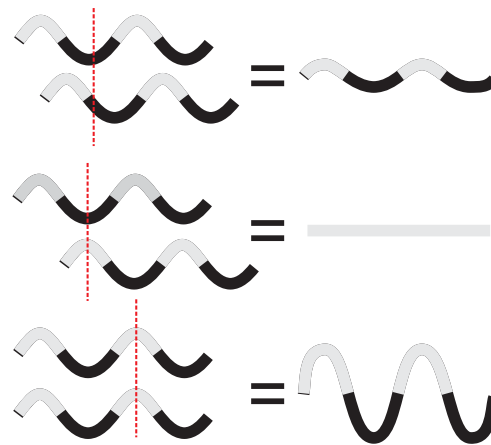
¿Qué pasó?

Al soplar por el popote se forman ondas, las cuales viajan por todo el recipiente. La fuerza del soplido puede modificar la forma y la amplitud de las ondas. Si colocas el popote perpendicular a la superficie los círculos serán concéntricos.

¿Dónde está la interferencia?

La forma circular de las ondas en el agua se modifica cuando éstas rebotan en la orilla del recipiente y se regresan (reflejan) hacia el centro del mismo. Estas ondas, al encontrarse con las que siguen saliendo de la punta del popote se superponen, entonces ocurre que dos ondas pasarán por un mismo lugar al mismo tiempo; en ese momento ocurre la interferencia. Cuando las crestas de dos ondas se encuentran entre ellas sus amplitudes se suman, produciendo una onda aún más grande, entonces ocurre una interferencia cons-

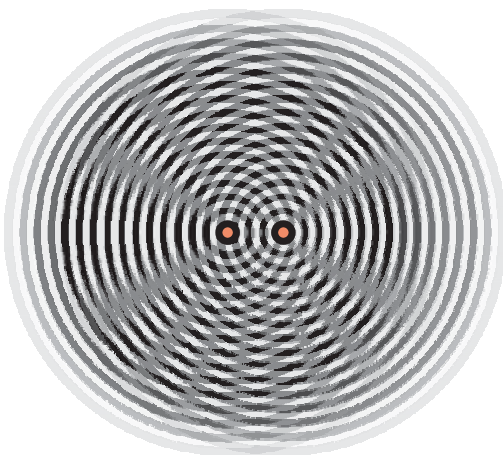
tructiva; mientras que si se encuentran una cresta con un valle, la amplitud de la onda resultante disminuye, a eso se llama interferencia destructiva.



a)



b)



a) **Patrón de interferencia** usando dos popotes. b) Modificación de la amplitud debido a la interferencia constructiva y destructiva. Cuando dos crestas (o valles) coinciden la interferencia es constructiva; se observan como franjas brillantes si las crestas de las dos ondas coinciden, franjas más oscuras si los valles coinciden. Cuando coinciden un valle y una cresta la interferencia es destructiva, y se observa como una zona sin onda (líneas en gris, perpendiculares a las ondas en el diagrama).

Variente con dos popotes

Para hacer más notoria la interferencia vamos a modificar ligeramente el experimento. Ahora utilizaremos dos popotes.

Procedimiento:

Coloca una punta de cada popote en tu boca y ábrelos en forma de “V”; pon el extremo de cada popote sobre la superficie del agua. Ahora sopla suavemente a través de ellos.

¿Qué pasó?

A partir de la punta de cada popote se forman dos conjuntos de círculos concéntricos. Después de unos segundos, los círculos al crecer se sobrepondrán y comenzarán a interferir entre sí. Este conjunto de ondas al sumarse, forman en la superficie del agua una figura que se conoce como “patrón de interferencia”.



Una modificación más:

Puedes elegir una de las siguientes opciones para modificar la interferencia:

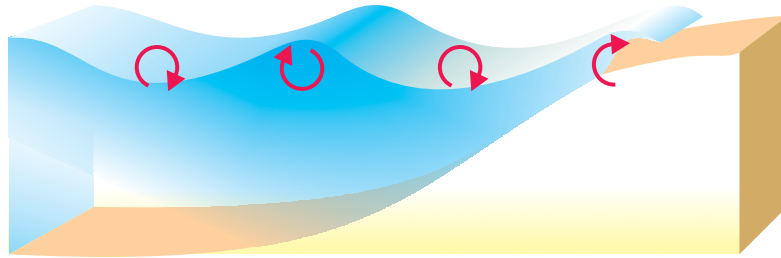
1. Variar la fuerza del soplido.
2. Cambiar la distancia entre las puntas de los popotes.

En ambos casos verás cómo varía el patrón de interferencia.

Aplicalo a tu vida:

En el mar se generan ondas cuya amplitud y longitud de onda dependen de la fuerza del viento, de una forma parecida a como ocurrió en el experimento. El viento que agita el agua puede hacer crecer las olas de manera importante. Al llegar a cierta altura las olas pierden su equilibrio y “rompen”, debido a dos situaciones: cuando la altura de ellas aumenta lo suficiente para que la onda no pueda

mantener su propio peso (se ha calculado que la ola rompe cuando la amplitud es mayor que $1/7$ de la longitud de onda aproximadamente); y la segunda, cuando la ola choca contra las costas, ahí la parte superior viajará más rápido que la parte inferior y romperá tal como lo observamos en la playa.



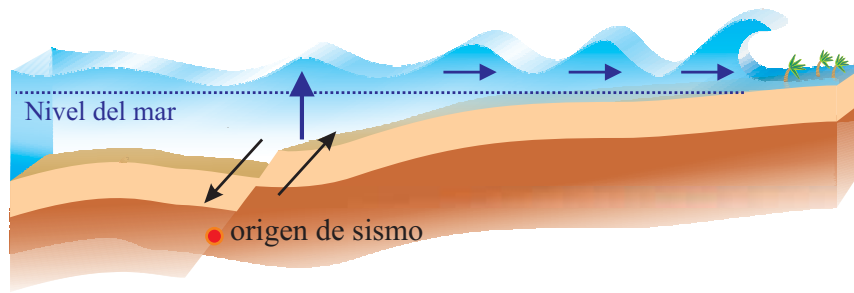
Movimiento de las partículas de agua (indicado por las flechas) en el mar cerca de la costa.

En la playa puedes ver que hay unas olas más grandes que otras. Cuando las crestas (o valles) de dos olas, de características similares, se encuentran, su amplitud aumenta y debes de tener cuidado cuando éstas lleguen a ti. En otras ocasiones, verás que hay olas que a lo lejos se ven grandes, pero cuando llegan a la orilla de la playa no lo son tanto, en este caso ha ocurrido una interferencia destructiva y las olas disminuyeron su amplitud al chocar entre sí.

Ejemplos en la Naturaleza:

Los tsunamis

Los tsunamis (o maremotos) son olas muy grandes que pueden ser generadas por un sismo, un volcán, una avalancha en el fondo marino, o la caída de un meteorito. Un tsunami se produjo cerca de la isla de Sumatra el 24 de diciembre de 2004. Primero hubo un gran sismo a 30 km de profundidad que sacudió la isla, con una intensidad de hasta VII y una magnitud de Richter de 9.2. En ese terremoto se generó un levantamiento del suelo marino y se formó el tsunami, el cual creció tanto que ocasionó muchos desastres, en la parte noroeste de la gran isla de Sumatra y países vecinos, varios minutos después. Las olas más grandes alcanzaron una altura aproximada de 25 metros cerca de la playa y su longitud de onda fue de más de 100 km en mar abierto. La diferencia de una ola playera y un tsunami, además de su tamaño, es que la primera sólo mueve las partículas cerca de la superficie, mientras que en la segunda, la onda abarca todo el cuerpo de agua, hasta el piso oceánico.



Escala modificada de Mercalli (simplificada)

- I. Detectado únicamente por instrumentos.
- II. Sentido por personas en reposo. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
- III. Sentido en interiores. Los vehículos estacionados pueden moverse ligeramente.
- IV. Sentido en el exterior. Las vajillas, vidrios de ventanas y puertas vibran, los muros crujen. Los vehículos estacionados se balancean claramente.
- V. Sentido en exteriores. Piezas de vajilla y vidrios de ventanas se rompen, caen objetos inestables.
- VI. Sentido por todo mundo, algunos muebles pesados cambian de sitio. Daños ligeros.
- VII. Daños menores en edificios de buen diseño y construcción, y considerables en los mal planeados. Lo perciben personas que van conduciendo vehículos en movimiento.
- VIII. Daños considerables en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grandes en estructuras débilmente construidas. Los muebles pesados se vuelcan. Pérdida de control de los vehículos en movimiento.
- IX. Grandes daños en algunos edificios, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
- X. La mayor parte de los edificios se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
- XI. Son destruidos puentes y estructuras de mampostería. Anchas grietas en el terreno. Hundimientos y derrumbes en terreno suave.
- XII. Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Objetos lanzados hacia arriba en el aire.

La escala de Mercalli se usa para determinar la intensidad de un terremoto de acuerdo con los daños causados y varía de un lugar a otro. Su diferencia con la escala de **magnitud de Richter** es que ésta mide la energía liberada, registrada en los sismógrafos y tiene un solo valor.

ONDAS QUE VIAJAN EN SÓLIDOS:

Los sismos

Interferencia de ondas en agua y en sólidos

¿Te has fijado que en lugares como un estanque o una tina, la superficie del agua casi nunca es completamente plana? Si te acercas verás que la superficie tiene ondulaciones que cambian constantemente. En el siguiente experimento vamos a ver cómo estas ondulaciones son producto de la interacción entre las ondas al propagarse.

Experimento 2

Materiales:

- Un recipiente transparente (p. ej. un envase de plástico o vidrio).
- Agua.
- Luz del sol de mediodía.
- Dos cucharas, reglas o palos de madera.

Procedimiento:

Bajo el rayo del sol sostén el envase con las dos manos o pon el recipiente sobre una mesa o base de cristal transparente. Vierte agua en él hasta aproximadamente la mitad. El envase debe estar separado del suelo unos 50 cm como mínimo. Ahora golpea con la regla una de las paredes del recipiente.



¿Qué pasó?

Al golpear el recipiente verás una onda en el agua que viaja de un lado a otro. Las ondas se verán como bandas en tonos oscuros y claros. Si observas con más cuidado, notarás que poco después de golpear el recipiente aparecerán varias ondas, entre ellas³ verás casi simultáneamente algunas ondas de mayor amplitud y luego otras de menor amplitud. Esto se debe a que al golpear el recipiente, las ondas viajan más rápido por sus paredes sólidas que por el agua. Al vibrar, el recipiente hizo que todas sus paredes produjeran ondas en el agua. Esta es una forma de verificar la velocidad de las ondas en dos medios. Además, al propagarse más rápido las ondas en la parte sólida del recipiente provoca que veas, casi al mismo tiempo, una onda de amplitud similar a la primera al otro lado del mismo.

Explícalo:

Si dos o más ondas que viajan en un medio se encuentran, el resultado en cualquier punto será la suma de las ondas individuales. Esto lo verás proyectado en forma de franjas de diferentes tonos. Las franjas claras y oscuras corresponden a una interferencia constructiva cuando coinciden las crestas y los valles, respectivamente. Al final, este efecto es el que termina generando esa especie de red luminosa que se mueve continuamente con el movimiento del agua, tal como se observa en las albercas.

Ejemplos de viaje de ondas en sólidos:

Los efectos de los sismos

Los sismos ocurren cuando hay un desplazamiento entre dos bloques de la corteza terrestre, entonces la energía liberada se propaga dentro de la Tierra en todas direcciones en forma de ondas sísmicas.

En ocasiones, durante el viaje de las ondas, éstas quedan atrapadas cerca de la superficie de la Tierra y permanecen rebotando entre las estructuras que componen la corteza. Este fenómeno ocurrió durante el sismo de Michoacán del 19 de septiembre de 1985 (de magnitud 8.1 en la escala de Richter, y con una intensidad de hasta IX en la de Mercalli). La energía que se liberó en el lugar de origen del terremoto llegó a la cuenca de México y las ondas quedaron atrapadas en lo que fue el antiguo lago, compuesto principalmente

por arcilla, arena y grava. De esta forma, las ondas comenzaron a rebotar en la roca más rígida de la base de algunos cerros como el de Chapultepec y el de la Estrella. Estos rebotes provocaron que las ondas sísmicas se concentraran en ciertas zonas y al interferir constructivamente, aumentaron su amplitud igual que en el experimento donde golpeamos el recipiente con agua. La frecuencia de vibración del terreno coincidió con la oscilación de varios edificios, por lo que éstos entraron en resonancia, que es otra manera de llamar a la “interferencia constructiva”. La resonancia es la que hizo que varios edificios se derrumbaran.

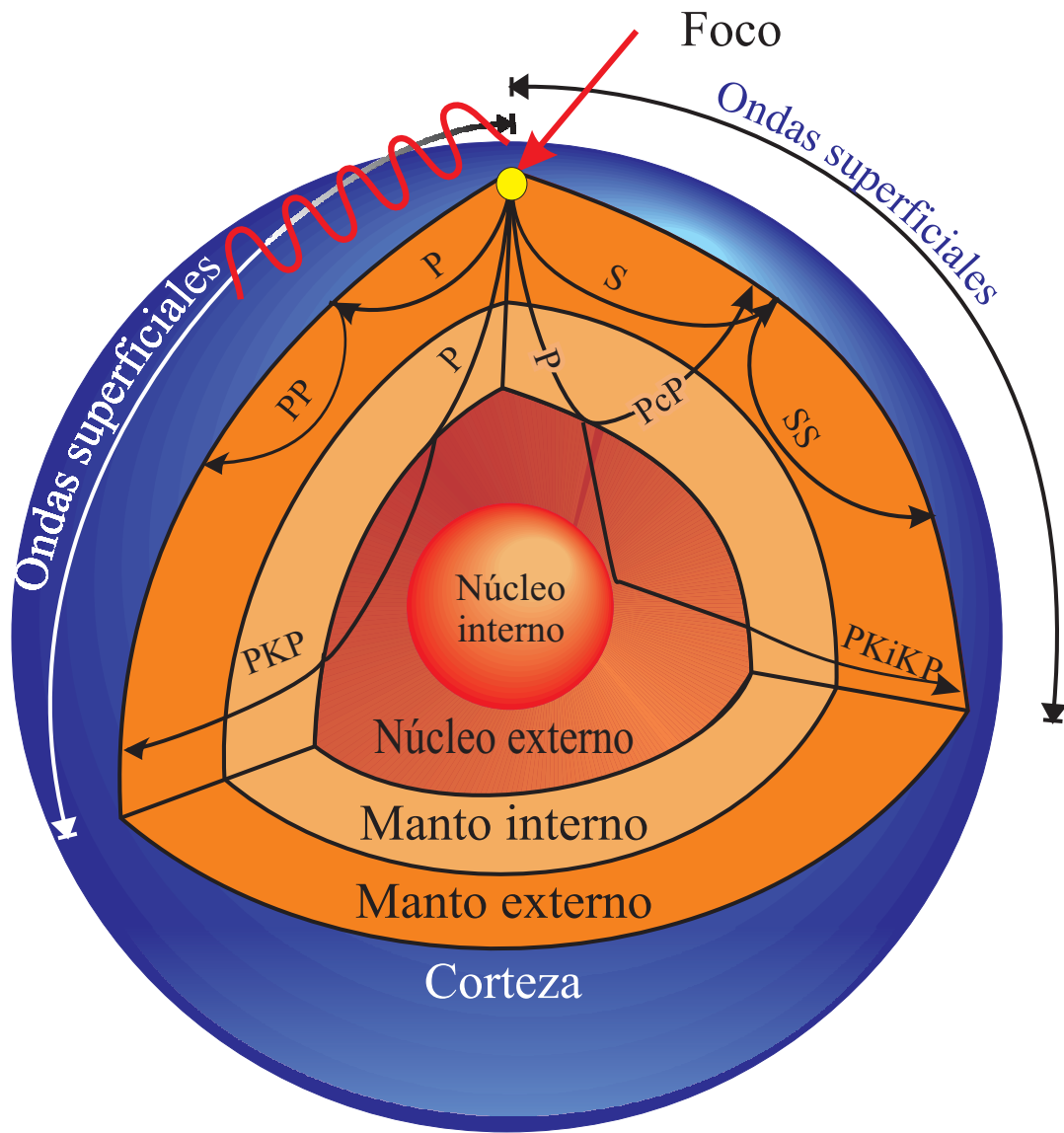
Ejemplo del uso de las ondas para conocer el interior de la Tierra

Una explosión o un terremoto son fuentes de energía que generan ondas sísmicas que viajan y se reflejan en las diferentes capas del interior de la Tierra. Estas ondas pueden ser registradas por un conjunto de detectores localizados en la superficie del planeta.

Cuando se busca petróleo, agua o minerales, se puede usar la sismología de exploración, la cual utiliza unos detectores de ondas llamados geófonos. Para el registro de la energía liberada por los terremotos se usan los sismógrafos; los sensores que detectan las ondas sísmicas se llaman sismómetros. El tiempo que tardan en llegar las ondas sísmicas de la fuente a los detectores permite calcular la profundidad de las capas que componen la Tierra.

Cuando ocurre un terremoto se registran principalmente dos tipos de ondas que viajan por el interior del planeta. Las primeras ondas en llegar al sismógrafo son las ondas “P”, que se transmiten tanto en sólidos como en líquidos; las ondas “S” llegan instantes después, pero éstas sólo se transmiten en sólidos. Gracias a esta diferencia en el comportamiento de las ondas se sabe que dentro de la Tierra hay capas “sólidas” (**corteza, manto inferior y núcleo interior**), una capa “plástica” como la que está en el manto superior, y que se le conoce como astenósfera, y una capa “líquida” en el núcleo exterior. Por cierto, en esta capa líquida se genera un efecto de convección que produce el campo magnético de la Tierra.

Si el sismo es poco profundo se generan también unas ondas llamadas superficiales, que son las que provocan el movimiento que sientes bajo tus pies.



La identificación de las diferentes capas que componen la Tierra se logró gracias al uso de las ondas sísmicas, cuya variación, en función del medio que atraviesan, fue fundamental para ello. Las P son las ondas primarias directas, las PP indican ondas reflejadas en la superficie, PcP son ondas reflejadas en el núcleo exterior, PKP ondas directas difractada en el núcleo exterior, PKiKP onda PKP reflejada en el núcleo interior, S ondas secundarias directas, SS onda S reflejada en la superficie de la Tierra.

ONDAS QUE VIAJAN EN EL AIRE: El sonido

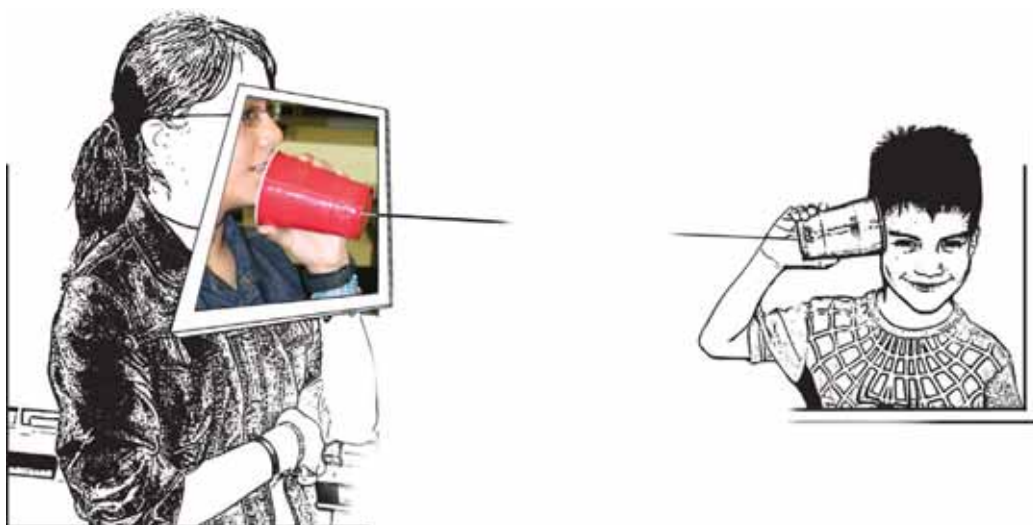
Experimento 3

Materiales:

- Dos vasos de plástico.
- Hilo de más de cinco metros.

Procedimiento:

Haz un agujero en el fondo de los vasos y amarra en cada uno los extremos del hilo. Pídele a un amigo que sujete uno de los vasos y sepárense para que el hilo esté lo más tenso posible. Ahora susurra algunas palabras en el vaso. Te darás cuenta que, aun cuando lo hayas dicho muy quedito, tu amigo lo escuchará.



Explícalo:

Un cuerpo emite un sonido cuando vibra, el cual estimula el sentido del oído. Cuando hablas dentro del vaso, las ondas de tu voz se transmiten a través del hilo haciéndola vibrar, como si estuvieras jugando con un *slinky* (juguete parecido a un resorte muy largo y muy flexible). Las ondas viajan por toda la cuerda y al llegar al vaso del otro extremo pasan nuevamente al aire como ondas acústicas. Cuando las ondas llegan al tímpano, éste comienza a vibrar y comunica dichas vibraciones a través de un conjunto de huesos que chocan entre sí en las ramificaciones del nervio auditivo.

Como te habrás dado cuenta, las ondas sonoras no sólo se transmite en el aire, sino en cualquier otro material, sea gas, líquido o sólido; el único medio en el que no se pueden propagar es en el vacío. La velocidad promedio del sonido en el aire es de 331 m/s, en el agua de mar es de 1435 m/s, mientras que en sólidos, como el acero, es de 5 mil m/s. Ello muestra que la velocidad con que se propaga el sonido depende del material que sirve como medio de transporte.

Aplicalo en tu vida:

Si vives o vas al campo puedes verificar intuitivamente que la velocidad del sonido es inferior a la de la luz.

- Para apreciar la diferencia de velocidad relativa entre la luz y el sonido puedes usar una lámpara. Pídele a un amigo que te ayude, sepárense varias decenas de metros y grita en el momento en que enciendas la lámpara, él verá inmediatamente la luz, mientras que tu grito llegará unos instantes después. Un experimento similar lo realizó Galileo buscando determinar la velocidad de la luz, sin embargo, sólo pudo concluir que la velocidad del sonido es inferior a la de la luz.
- Cuando vayas a un evento donde hay fuegos artificiales, fíjate que a los pocos segundos de haber sido lanzado un cohete percibes la luz del estallido, pero el sonido del mismo llega unos segundos después.
- Cuando hay una tormenta eléctrica y observas que un rayo surca el cielo, el trueno llega varios segundos después. Incluso, puedes calcular la distancia a la que cae un rayo. Cuenta los segundos que hay entre el momento en que ves la luz y en el que escuchas el trueno: por cada tres segundos la distancia será de un kilómetro aproximadamente, ya que la luz viaja casi a 300,000 kilómetros por segundo (km/s), esa es la razón por la que llega casi instantáneamente a tus ojos, mientras que el sonido viaja mucho más lento, a 0.331 km/s.

ONDAS QUE NO NECESITAN UN MEDIO PARA PROPAGARSE:

Las ondas electromagnéticas

En la Naturaleza existe un tipo de ondas que no requiere de un material para propagarse y se conocen como ondas electromagnéticas. Este tipo de ondas son quizá las más comunes en tu vida, ya que la luz pertenece a este tipo de ondas.

La luz y la doble rendija

Experimento 4

Thomas Young demostró que cuando la luz de dos fuentes se encuentran, aparece un patrón de interferencia, signo inequívoco de que la luz se comporta como una onda. En esta parte vamos a reproducir parte del experimento de la doble rendija de Young, quien fue el primero en descubrir este fenómeno.

Material:

- Un trozo de papel metálico
(lo puedes obtener de las envolturas de galletas o frituras).
- Un cortador exacto.
- Una lámpara de luz.
- Una regla de metal.

Procedimiento:

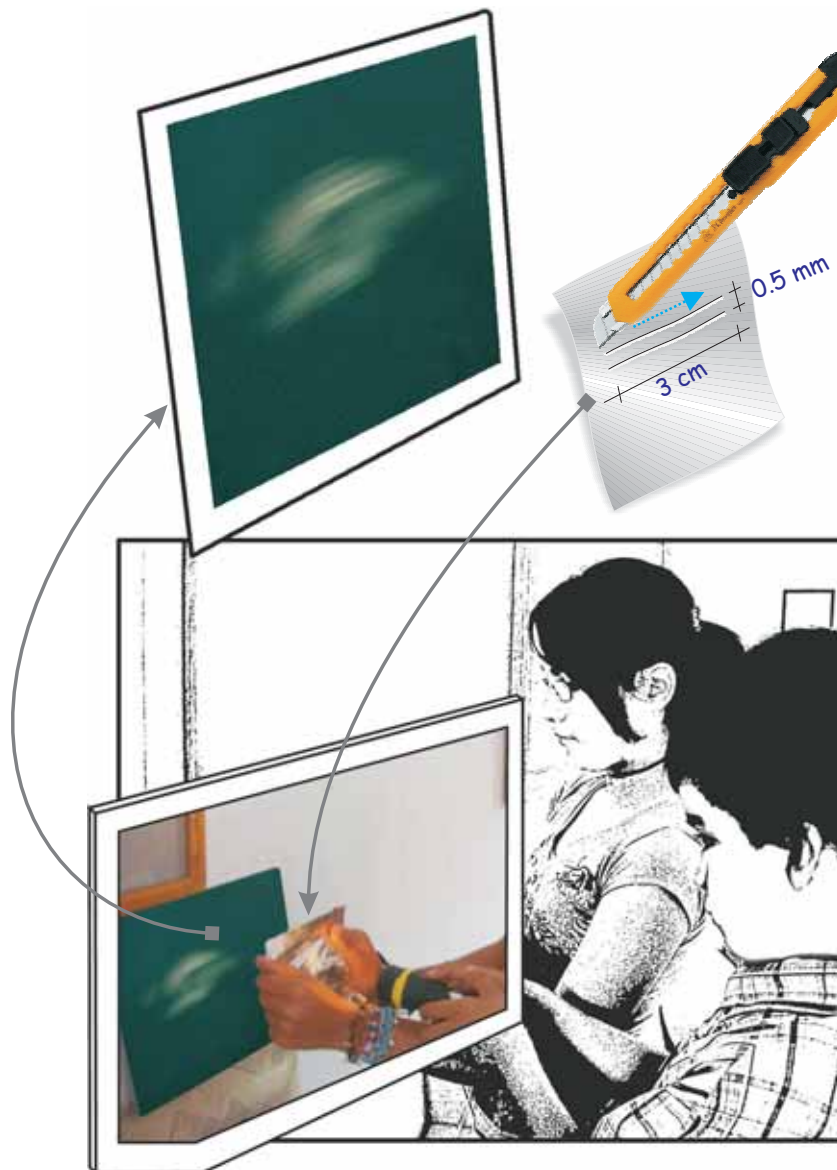
Pídele a un adulto que realice los cortes con el cortador exacto. Hay que hacer un par de cortes paralelos de aproximadamente 3 cm de largo sobre el papel. La separación entre los cortes debe ser lo más pequeña posible, aproximadamente medio milímetro (0.5 mm). Pídele a alguien que sostenga el papel estirándolo ligeramente con las dos manos, enciende la lámpara y dirige el haz de luz hacia las rendijas en el papel. Proyecta la imagen sobre una pared en una habitación, de preferencia oscura, para ver el resultado.

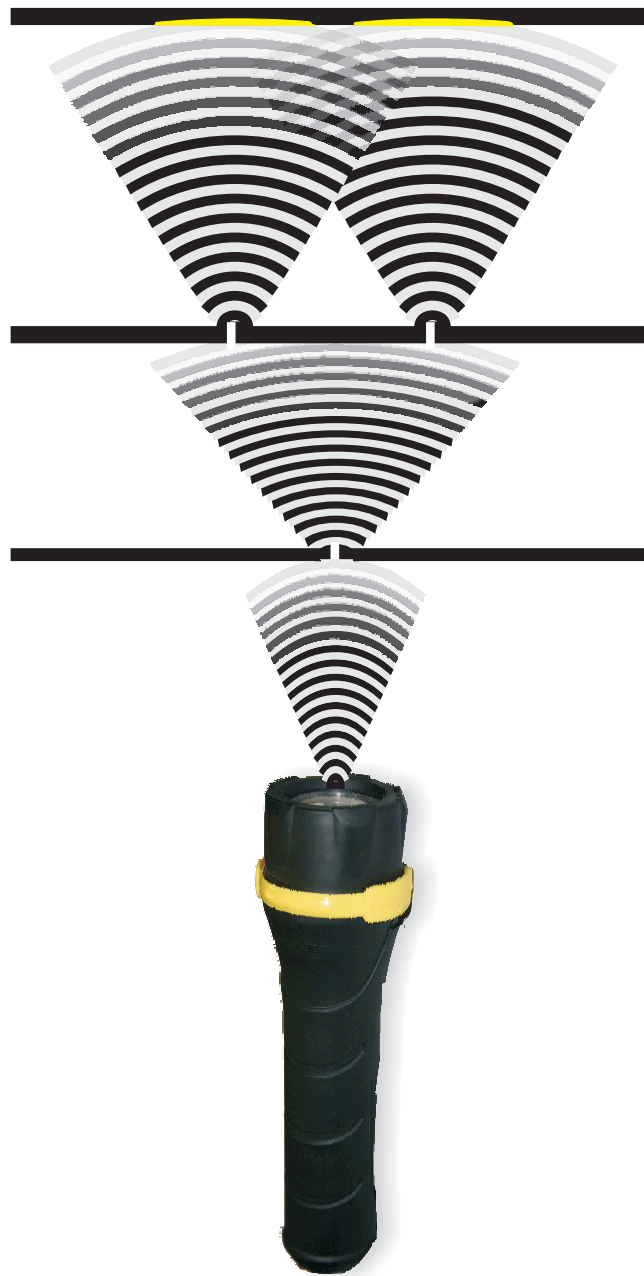
¿Qué pasó?

Si el haz se divide en dos al atravesar las rendijas, ¿cuántas franjas delgadas esperas ver proyectadas sobre la pared?, ¿cuántas ves en realidad?

Explícalo:

En la pared verás proyectadas un conjunto de franjas muy delgadas oscuras y claras producidas por la interferencia de la luz. Aleja y acerca la lámpara hacia el papel; las franjas modificarán su ancho en función de la distancia de la lámpara, pero también se harán más claras o más borrosas. A diferencia de lo que sucede en el agua, aquí las franjas oscuras muestran cuando hay una interferencia destructiva, mientras que las claras muestran la interferencia constructiva. El hecho de que haya varias franjas, en vez de dos, muestra que la luz se comporta como una onda, ya que dichas franjas son producto de las ondulaciones de la luz.





En el experimento clásico de la doble rendija de Young, se utilizan dos láminas, la primera con una sola rendija y la segunda con dos. En la imagen proyectada se observan las bandas claras y oscuras producidas por la interferencia de las dos ondas que pasan la segunda lámina.

Burbujas de Colores

Experimento 5

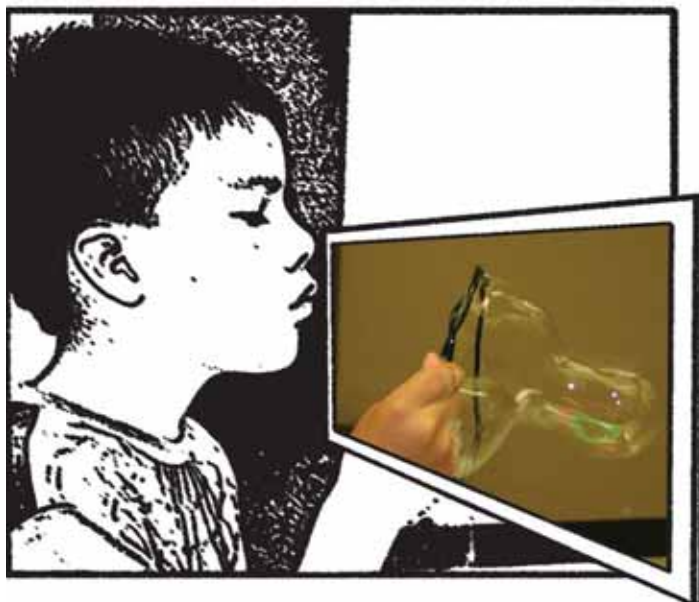
¿Crees que la interferencia tenga algo que ver con las burbujas de jabón? Seguramente has notado que en ellas se ven varios colores en su superficie, ¿sabes por qué?, hagamos un experimento para averiguarlo.

Materiales:

- Un recipiente.
- Agua.
- Jabón en polvo o líquido.
- Alambre.
- Azúcar o glicerina.

Procedimiento:

1. Mezcla dos cucharadas de jabón y dos de azúcar (o glicerina) en un vaso de agua.
2. Con el alambre haz una figura simple (círculo, cuadrado o triángulo).
3. Mete la figura de alambre dentro del recipiente y agítala un poco verificando que el jabón se adhiera al alambre.
4. Saca la figura y muévela lentamente frente a ti, hasta que veas la película de jabón, en la cual también podrás apreciar varias franjas de colores.



¿Qué pasó?

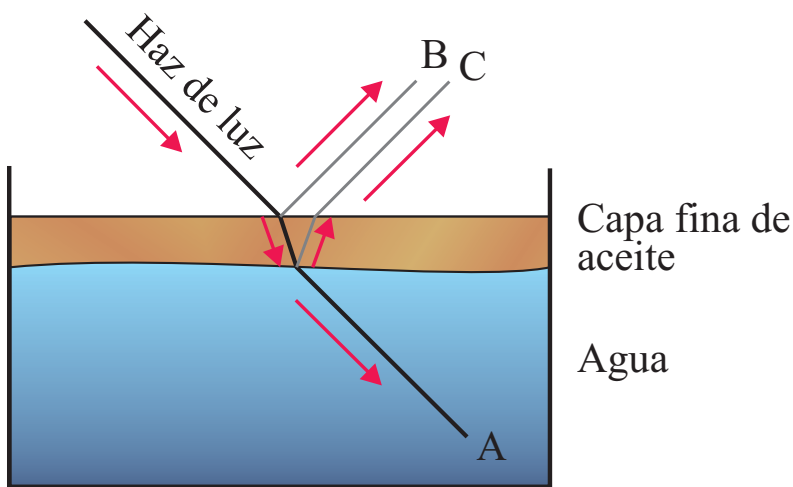
Las franjas de colores que se aprecian sobre la película de jabón, aparecen más claramente cuando encuentras el ángulo de reflexión adecuado entre los rayos de luz y la película de jabón. Te tomará un poco de tiempo encontrar el ángulo adecuado donde se observan estas franjas.

Detalles:

Para que el experimento salga bien el agua debe contener suficiente jabón y producir muchas burbujas. El azúcar y la glicerina sirven para hacer más resistentes las burbujas. Para mayor eficacia, deja reposar el agua jabonosa unos minutos. Si la figura de alambre no está bien cerrada la película no se formará.

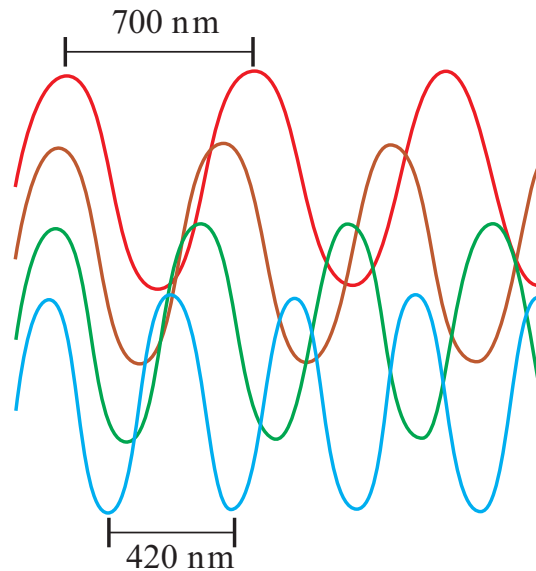
Explícalo:

Al pasar la luz de un medio (el aire) a otro (la película de jabón), le ocurren dos fenómenos: una refracción, lo que significa que su dirección es desviada un poco; y una reflexión, lo que significa que la luz se refleja (como en un espejo) en las superficies alta y baja de la película de jabón. Al ocurrir lo anterior, interfieren las dos ondas reflejadas (B y C en la Figura). La onda C está retrasada en tiempo con respecto a B, dependiendo del espesor de la película de jabón. Para ciertas longitudes de onda este retraso genera una interferencia constructiva, para otras destructiva.



El color que se ve es el correspondiente a la longitud de onda resultante de la interferencia. La luz roja tiene una longitud de onda

muy pequeña, de aproximadamente 760 nanómetros (nm), mientras que la luz violeta tiene una longitud de onda aún más pequeña (de aproximadamente 400 nm).

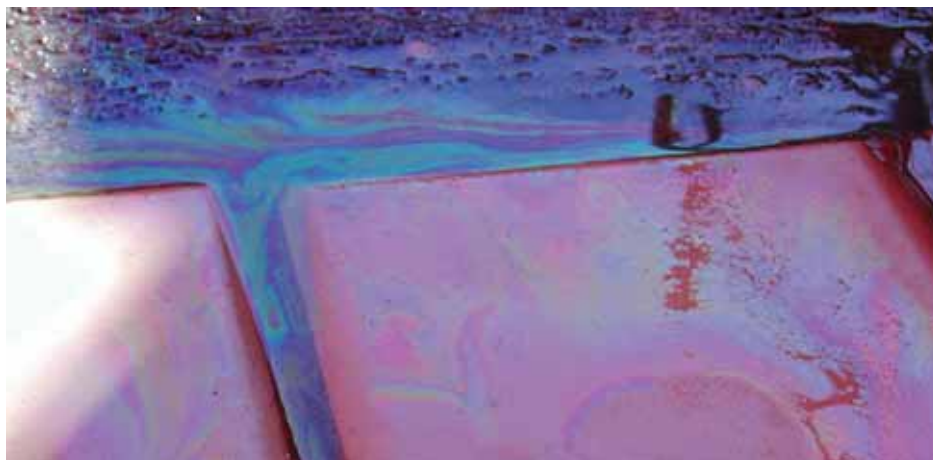


El color depende de la longitud de onda

Aplicalo a tu vida:

Seguramente has visto en la calle charcos de agua sobre el pavimento en los que se observan bandas de colores en su superficie. Esto ocurre cuando hay una película de aceite de coche quemado flotando sobre agua. Lo mismo que le ocurrió a la luz blanca con la película de jabón, ocurre con el aceite.

Si viertes aceite de cocina en un vaso de agua no se apreciará la descomposición de la luz porque la película de aceite es muy gruesa para provocar este fenómeno. Hasta que el espesor de la película se adelgaza, y es del orden de la longitud de onda de la luz, entonces es cuando ocurre la interferencia.



Medias, mascadas y luz

Experimento 6

Otra forma de ver la interferencia de la luz es mediante el uso de otros elementos que puedes encontrar en tu casa como las mascadas y las medias.

Materiales:

- Una media de mujer (negra o café) o una mascada de seda.
- Una lámpara de luz blanca.

Procedimiento:

Estira la media con tus manos cerca de tu cara y dirige la media hacia la fuente de luz. Verás que al mirar a través de la media apreciarás varios círculos concéntricos de colores.

¿Qué pasó?

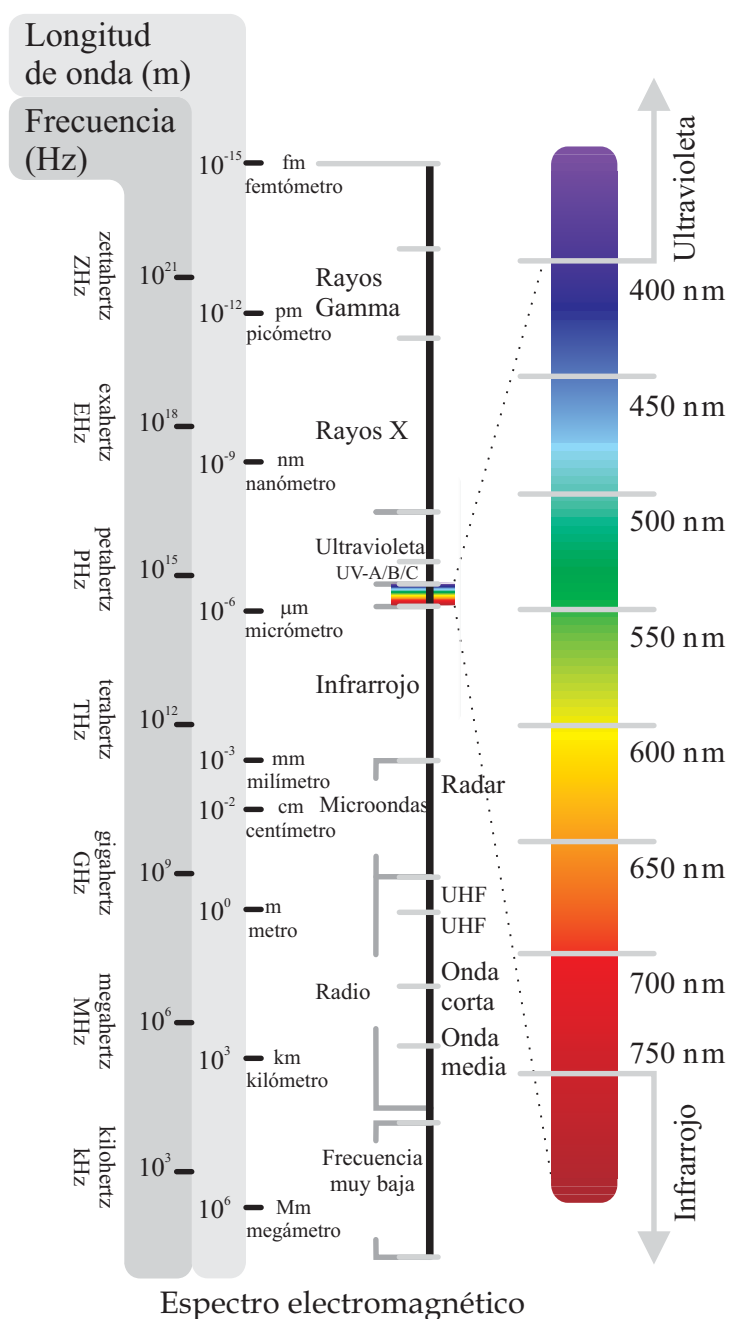
Los hilos de la media o mascada son muy delgados y la distancia entre ellos es tan corta que facilita la difracción de la luz. La difracción ocurre cuando una onda rodea el extremo de un obstáculo. Los rayos al interferir entre ellos producen la interferencia constructiva y destructiva que dan origen a los círculos de colores.



Las ondas electromagnéticas en la vida diaria y la Naturaleza

Como ya vimos, las ondas electromagnéticas son otro tipo de energía en movimiento, no necesitan un medio para propagarse, son invisibles y viajan aproximadamente a la velocidad de la luz. Son muy parecidas entre sí y se diferencian por su rango de frecuencia (o longitud de onda).

La parte del espectro de ondas electromagnéticas que encontramos comúnmente es la que se muestra en la figura. Allí se indican los intervalos aproximados de longitud de onda y su frecuencia.



El ser humano sólo percibe un segmento muy pequeño del espectro electromagnético. A este intervalo se le llama intervalo visible de luz y sus distintas longitudes de ondas las percibimos como colores.

Las ondas electromagnéticas actualmente se utilizan en las telecomunicaciones como las transmisiones de radio, televisión y los teléfonos celulares. También tienen una gran aplicación en la medicina, tal es el caso de los rayos X, rayos ultravioleta, rayos gamma o el rayo láser. Las ondas electromagnéticas viajan en el aire a la velocidad de la luz.

Mencionamos anteriormente que si aumenta la frecuencia, disminuye su longitud de onda, por eso las ondas con menor longitud de onda tienen una frecuencia más alta. Para darte una idea de como es la relación entre ellas te damos unos ejemplos: las ondas que transmite la radio AM tienen cientos de kilómetros de longitud con frecuencias de cientos de miles de ciclos por segundo (de 500 a 1,600 kilohertz), en cambio, la radio FM funciona con ondas que tienen longitudes de decenas de metros y frecuencias de millones de ciclos por segundo (de 88 a 108 MHz, megahertz). En el caso del horno de microondas, éste genera ondas que tienen entre unos cuantos centímetros y milímetros de longitud, con frecuencias más altas, con ciclos de cientos de millones por segundo. Hay muchos sistemas de comunicación que funcionan a través de satélites, ellos generalmente trabajan con frecuencias de miles de millones de ciclos por segundo (GHz, gigahertz), siendo su longitud de onda de unos cuantos centímetros a milímetros.

Para evitar que haya interferencias entre tantos sistemas de comunicación basados en ondas electromagnéticas, cada gobierno, de acuerdo con convenios internacionales, supervisa que cada servicio de radiocomunicación (estaciones de radio, televisión, radiolocalización, radionavegación aeronáutica o servicios de teléfonos celulares) transmita en cierto rango de frecuencias. El hecho de que cada aparato, o estación receptora, detecta únicamente las ondas de su frecuencia asignada evita la mayoría de las interferencias.

Tres tipos de ondas

Experimento 7

Este experimento te permitirá visualizar el comportamiento distinto de las ondas elásticas (que se propagan en sólidos), acústicas (que se propagan en el aire) y electromagnéticas (que no necesitan un medio para propagarse).

Materiales:

- Reloj despertador digital.
- Frasco de cristal.

Procedimiento:

Coloca el reloj dentro del frasco apoyado sobre una mesa.

Prográmalo para que éste suene en uno o dos minutos. Cuando suene podrás apreciar los siguientes efectos:

- En todo momento percibirás los dígitos del reloj (ondas electromagnéticas) porque la luz se propaga sin problema en el aire.
- Al sonar la alarma, parte de su energía se transmitirá en forma de ondas acústicas a través del aire y será en gran parte absorbida por el sólido del frasco, por lo que oirás levemente su sonido.
- Al vibrar el reloj, éste golpeará la mesa en la que esté apoyado; así, otra parte de su energía se transmitirá como ondas elásticas.

Si el frasco no tuviera aire y sonara el despertador, se vería el reloj moviéndose pero el sonido desaparecería, aunque seguirías percibiendo la vibración en la mesa. Si apuntas al reloj con un rayo láser (onda electromagnética) podrás verificar cómo se propaga sin necesidad de un medio como el aire. Finalmente, si repites el caso anterior pero colgando el reloj con un hilo de la parte superior del frasco, de forma que no toque la mesa, seguirás apreciando el reloj, pero desaparecerán el sonido y la vibración de la mesa.



Algunos aportes de Thomas Young (1773-1829)

Thomas Young fue un científico denominado universal por los aportes que hizo en diferentes áreas del conocimiento. Sus intereses en la investigación abarcaron campos tan diferentes como la Física, la Fisiología médica y la Egiptología. Young nació el 13 de junio de 1773 en Inglaterra. Cursó sus estudios de Medicina en las universidades de Londres, Edimburgo, Göttingen y Cambridge. Estudió el funcionamiento del ojo humano y estableció tres tipos de receptores, cada uno de ellos sensible a cada uno de los colores primarios. También descubrió cómo cambia la curvatura del cristalino del ojo para enfocar objetos a distintas distancias. En 1801 descubrió la causa del astigmatismo y comenzó a interesarse en la óptica.

En 1803 Young llevó acabo uno de sus experimentos más célebres, el cual lleva su nombre. En 1807 Young presentó la teoría de la visión del color conocida como de Young-Helmholtz. Él revivió la teoría ondulatoria de la luz de Huygens y mediante varios experimentos demostró los fenómenos de dispersión y de refracción. En otros estudios de Física estudió la tensión superficial de los líquidos y la elasticidad de los sólidos, de esta última calculó un coeficiente de elasticidad para varios materiales, el cual después fue llamado módulo de Young.

En 1820 Thomas Young determinó la longitud de onda de los componentes de la luz. Él fue el primero en demostrar que la luz cambia de velocidad al atravesar medios con diferente densidad. Además de su interés por la Física, Young tuvo otras pasiones, como lo fue la Egiptología, él fue uno de los primeros en descifrar e interpretar los jeroglíficos de varios papiros.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer a las siguientes personas que con sus observaciones mejoraron sustancialmente el texto. Los doctores Bernardino Barrientos, Manuel Lozano Leyva, Rafael Alberto Méndez Sánchez, Gil Bor, Carlos Mendoza y Ángel F. Nieto Samaniego revisaron que los conceptos teóricos del manuscrito fueran correctos. María Elena Estrello hizo la corrección de estilo. Juan José Martínez, Ofelia Teja, Matías Santiago, Karina y Daniel Gómez verificaron que los experimentos pudieran reproducirse fácilmente.

Acerca de los Autores

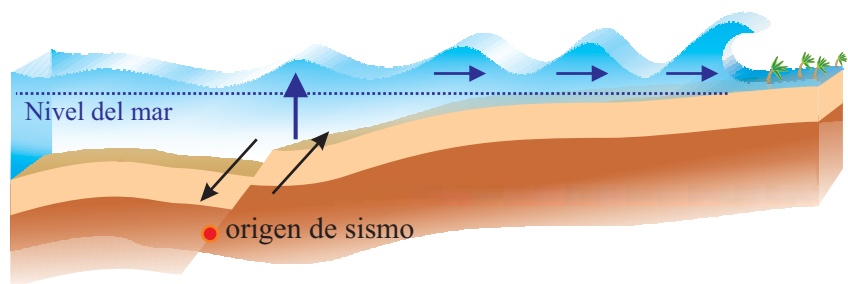
Juan Martín Gómez González

Es investigador del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Juriquilla, Querétaro. Obtuvo su doctorado en Sismología en la Universidad Paris VII, en Francia. Es egresado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en donde obtuvo la licenciatura. Actualmente es profesor en el Posgrado en Ciencias de la Tierra en la UNAM y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Ha publicado varios artículos sobre modelado de ondas sísmicas y generación y evolución de la fuente sísmica. También realiza monitoreo sísmico en la Mesa y el Altiplano Central para localizar y entender el origen de la sismicidad en esas regiones del país.

Susana A. Alaniz Álvarez

Investigadora 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. Realiza investigación 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.

“Experimentos simples para entender una Tierra complicada. 5. La Tierra y sus ondas”, 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 10 000 ejemplares. Se realizó mediante offset en papel couche de 100 g/cm². Las fuentes utilizadas fueron Book Antiqua 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 “La interferencia de los rayos luminosos” de Thomas Young.

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>