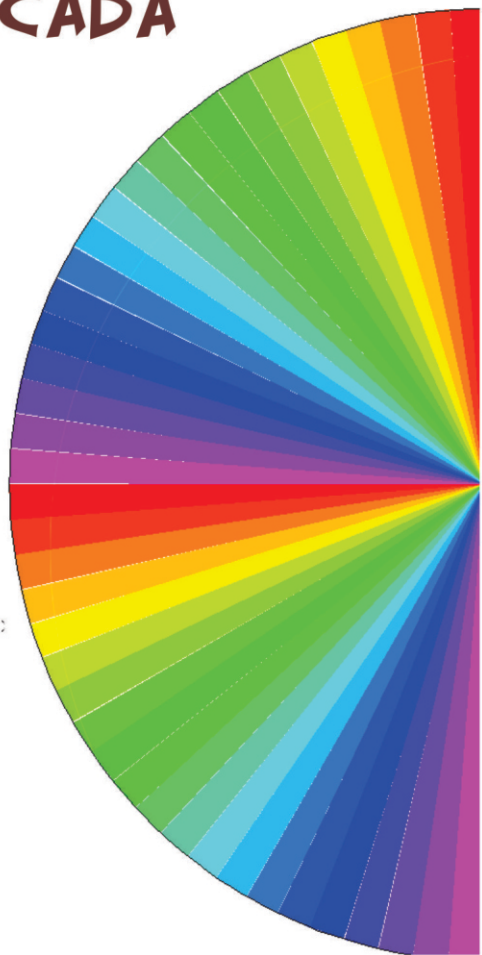


EXPERIMENTOS SIMPLES PARA ENTENDER UNA TIERRA COMPLICADA



2 La luz y los colores

Texto: Bernardino Barrientos García
Ilustración: Luis Adán Martínez Jiménez

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, Octubre 2007
Primera reimpresión, Agosto 2008
Segunda reimpresión, Noviembre 2008
Tercera reimpresión, Septiembre 2009
Cuarta reimpresión, Septiembre 2011
Quinta 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 978-970-32-5017-2

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
Experimentos de Newton	5
Refracción de la luz	7
El arco iris	9
Crea un arco iris	10
¿Cómo medir el tamaño de un arco iris?	11
El disco de Newton	11
La polarización de la luz	12
Crea tu propio espectro de color	12
El arco iris secundario	13
Detalles curiosos acerca del arco iris	13
El mundo de los colores	14
Conclusión	19
Agradecimientos	20
Acerca del autor	21
Isaac Newton	21

¿Y cómo sería el mundo sin colores?
¿De qué está hecho el arco iris?
¿Por qué tiene colores?
¿Por qué es un arco circular?

Introducción

La luz es uno de los medios más importantes por el cual las personas interactuamos con el mundo que nos rodea. Esto lo hacemos mediante nuestro sentido de la vista. Así, mediante el sentido de la vista, podemos obtener nuestros alimentos, relacionarnos con los demás, desplazarnos de un lugar a otro, o simplemente contemplar la naturaleza. Respecto a esto último, ¿quién no se ha maravillado al ver el azul del cielo, los diversos colores de un arco iris o los tonos rojizos de un atardecer? A lo largo de la historia, estos acontecimientos han sorprendido a las diferentes culturas debido a sus espectaculares características distintivas. En particular, el arco iris impacta por su forma en arco circular, por el hecho de que aparezca flotando entre la tierra y el cielo y por sus colores. ¿Y cómo sería el mundo sin colores? En este fascículo vamos a explorar los diferentes detalles necesarios para la formación de un arco iris y también la forma por la cual percibimos a los objetos con los colores que los vemos.



Antes que nada, permítanme presentarles a nuestros dos amigos: el hámster Isaac y su gran amigo el gato Carmelo, quienes en este momento se encuentran platicando cosas muy interesantes relacionadas con la luz.



¿Y cómo sería el mundo sin colores?
¿De qué está hecho el arco iris?
¿Por qué tiene colores?
¿Por qué es un arco circular?

Experimentos de Newton

Gato Carmelo: ¿Sabes Isaac?, ayer me tocó ver un arco iris espectacular y me vinieron a la mente varias preguntas que no pude contestar.

Hámster Isaac: ¿Qué preguntas fueron? Quizás yo te pueda ayudar a que las contestes.

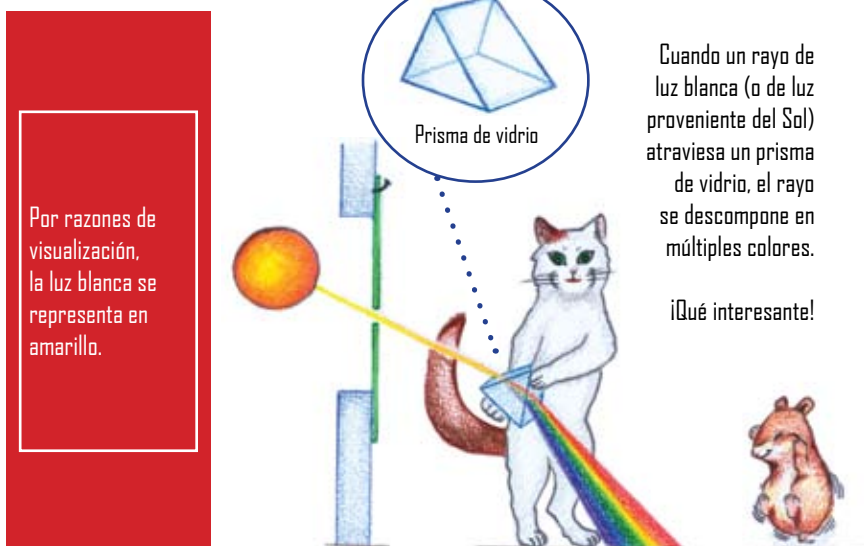
Gato Carmelo: El arco iris, ¿de qué está hecho?, ¿por qué es un arco circular?, ¿por qué tiene colores?

Hámster Isaac: ¡Qué interesantes preguntas! Sabes Carmelo, una de las primeras personas en ofrecer respuestas acertadas a esas preguntas fue mi tocayo Isaac Newton, uno de los científicos más brillantes de todos los tiempos.

Gato Carmelo: ¡Oh! ¿Y cómo lo hizo?

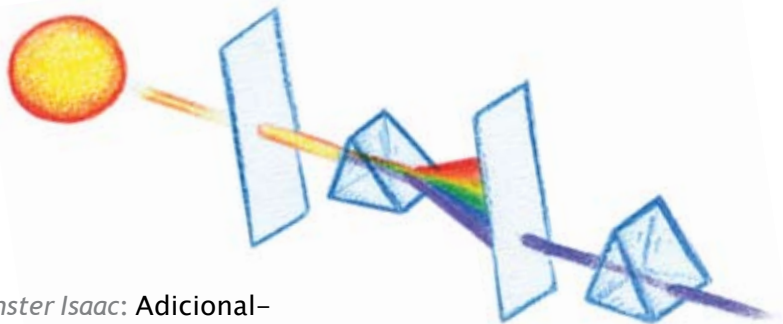
Hámster Isaac: En 1666, Isaac Newton llevó a cabo el siguiente experimento. En su habitación a oscuras, hizo que un rayo de luz blanca del Sol pasara a través de un pequeño hueco en una de las ventanas cubiertas y luego hizo pasar este rayo de luz a través de un pedazo de vidrio con forma de prisma.

Newton observó que a la salida del prisma se obtenía un rayo de luz más ancho, el cual contenía todos los colores, con una distribución similar a la que se observa en un arco iris. En la actualidad, a esta banda multicolor se le conoce como espectro de color. Nuestros ojos pueden distinguir, sin mucho esfuerzo, siete diferentes colores. Newton también notó que dichos colores siempre aparecían en el mismo orden; por ejemplo, yendo de arriba hacia abajo: primero rojo, luego naranja, amarillo, verde, azul,



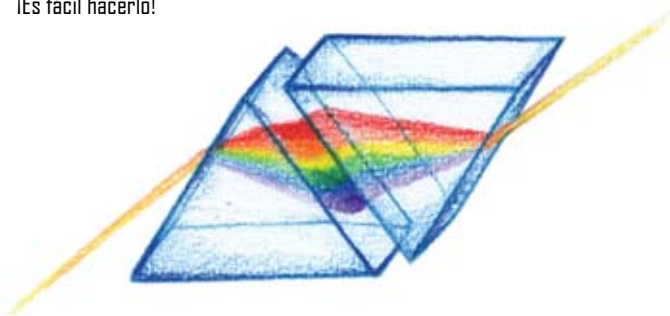
azul marino (índigo) y finalmente violeta. Para estar seguro que la luz blanca era la que contenía todos los colores y que la generación de éstos no era una propiedad del prisma, a partir del rayo multicolor formado por un primer prisma, Newton seleccionó sólo un componente de color, colocando un pedazo de cartón con un pequeño orificio en el camino del rayo. Al hacer pasar este componente de luz a través de un segundo prisma, él observó que no era nuevamente separado en colores. A partir de este simple experimento Newton concluyó que la luz blanca contenía todos los colores y que su separación (llamada dispersión cromática de la luz) se debía a que cada color se desviaba o refractaba una cantidad diferente cuando el rayo pasaba a través del prisma.

Gato Carmelo: ¿Dispersión cromática? ¡Qué nombre tan raro!



Hámster Isaac: Adicionalmente, Newton pensó que si todos los colores producidos a la salida del prisma estaban contenidos en el rayo de luz blanca, entonces, si se les combinaba de nuevo, éstos producirían luz blanca. Para verificarlo, Newton colocó otro prisma de vidrio en el camino del rayo multicolor, pero invertido. Él estaba en lo correcto: la banda de colores, al ser combinada nuevamente, produjo luz blanca.

¡Es fácil hacerlo!



Si nuestros amigos están interesados en realizar este experimento por su cuenta, consigan dos prismas de vidrio, los cuales los podrán adquirir en el Centro de Investigación en Óptica (www.cio.mx) y colóquenlos como se muestra, a aproximadamente 2 o 3 milímetros de separación.

Refracción de la luz

Hámster Isaac: Carmelo, ¿sabes qué le pasa a un rayo de luz cuando pasa de un medio transparente, por ejemplo aire, a otro diferente, por ejemplo vidrio?

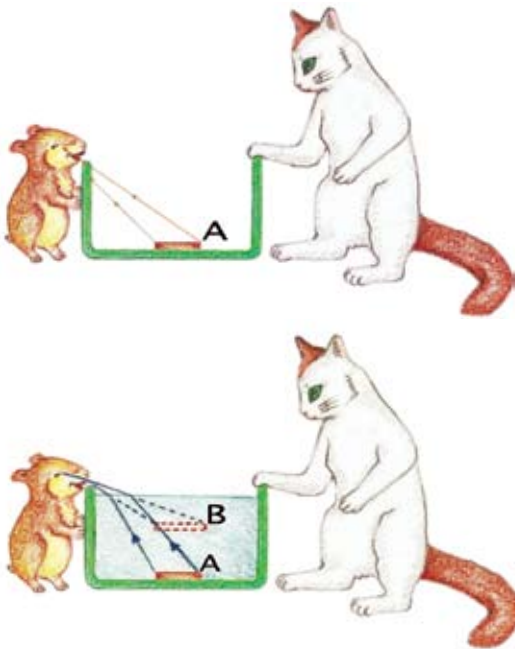
Gato Carmelo: No, ¿qué le pasa?

Hámster Isaac: Pues sufre un desvío en su trayectoria. Este fenómeno se conoce como refracción de la luz. Con el prisma puedes notar que tanto el rayo que entra como el que sale sufren una desviación. A la entrada, la luz pasa de aire a vidrio y por tanto se refracta; lo mismo sucede a la salida, porque la luz ahora pasa de vidrio a aire.

Gato Carmelo: No entiendo bien, explícame más.

Hámster Isaac: Para entender mejor lo que es la refracción de la luz, invitemos a nuestros amigos a que hagan el siguiente **experimento**. Coloquen una moneda pequeña en el fondo de una taza de tal forma que desde cierta posición la puedan ver. Luego, retírense poco a poco hasta que sólo vean el borde de la moneda. La luz que parte del borde de la moneda viaja directamente hacia sus ojos. Sin moverse, pídanle a un amigo que le ponga agua poco a poco a la taza. ¿Qué sucede? ¡Sí, así es, la moneda empieza a verse completa! ¿Por qué, Carmelo?

Gato Carmelo: Pues... eehh... este... mmm.

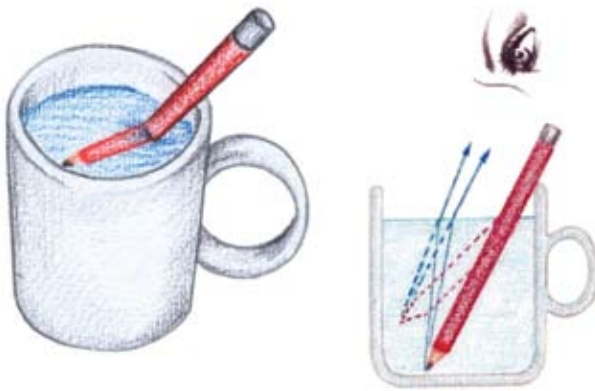


Experimento de la aparición de la moneda. Sin agua, la luz proveniente del punto A viaja en línea recta hacia el ojo de Isaac. Con agua, la luz de cada punto de la moneda viaja a través de dos trayectorias hacia el ojo de Isaac.

Hámster Isaac: Con el agua, el rayo que va de la orilla de la moneda hacia tu ojo pasa de agua hacia aire y por lo tanto se refracta. Esta refracción produce la ilusión de que la luz proviene del punto donde la vemos, que se encuentra más arriba que donde realmente está. Como sucede lo mismo con todos los puntos de la superficie de la moneda, tendrás la impresión de que la moneda está más arriba de su posición real. Esto mismo explica por qué los objetos en una alberca se ven más cercanos. ¿Sabes?, en la antigüedad algunos aborígenes que usaban arpones para pescar los lanzaban de tal forma que intuitivamente compensaban el efecto de la refracción, es decir, en vez de arrojar el arpón hacia donde se percibe el pez, ellos lo arrojaban con un ángulo tal que podían pegarle al punto donde realmente se encontraría el pez. A la imagen que vemos dentro del vaso con agua se le conoce como imagen virtual, ya que no existe en la posición donde se le observa.

Gato Carmelo: ¡Miau! ¡Qué increíble!

Hámster Isaac: La refracción también explica por qué cambia la forma de los objetos cuando se les introduce en agua.



Distorsión de un objeto debido al fenómeno de refracción. En el lado derecho se muestra que la punta del lápiz se ve más arriba que cuando no hay agua.

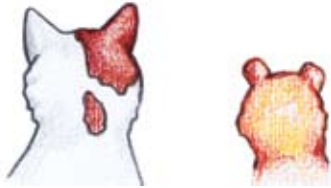
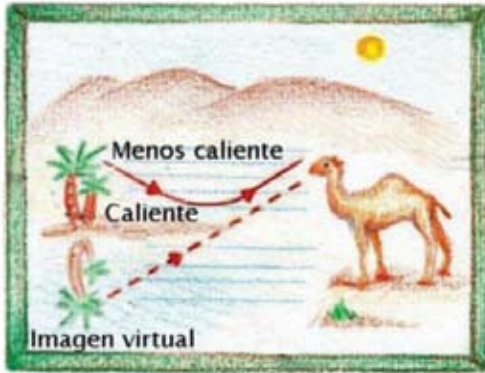
Los espejismos que producen en el desierto o cuando uno viaja en carretera también se deben a la refracción de la luz. En esos casos se observa que a lo lejos hay objetos (generalmente agua) sobre el suelo, pero cuando llegamos a ese lugar no hay nada. Éste es otro ejemplo de formación de imágenes virtuales.

Gato Carmelo: ¡Aaaah! ¿Pero cómo sucede eso?

Hámster Isaac: Te voy a dar un ejemplo mediante la escena representada en el cuadro de aquella pared. Ahí, el camello ve a lo lejos sobre el piso una palmera aparentemente dentro de un lago. Veamos lo que ocurre. A pleno día, el aire que está cerca del piso se calienta mucho más que el que está más alejado. Esta diferencia de temperaturas hace que la luz sea refractada de manera diferente a cada altura, es decir, la capacidad

del aire para refractar la luz depende de su temperatura. Como el aire tiene diferentes temperaturas a diferentes alturas, la luz que viaja de un objeto lejano (como la palma) se descompone en varias trayectorias antes de llegar al ojo del observador. Lo que aparentemente se ve como lago es el cielo cuya imagen virtual se ve sobre el piso.

Gato Carmelo: ¡Ah! ¡Como en las películas!



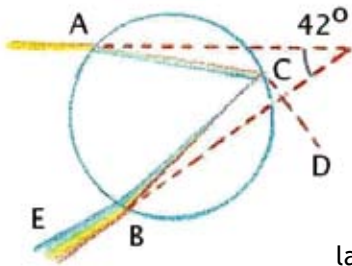
El aire cercano a una superficie caliente da lugar a imágenes virtuales de objetos que se encuentran relativamente lejos del observador. A este fenómeno se le conoce como espejismo.

Hámster Isaac: Hasta aquí ya sabes por qué la luz se desvía o refracta pero aún no sabes por qué cada color se desvía una cantidad diferente como en el ejemplo de la descomposición de colores en el prisma. La explicación moderna a esto es que un material transparente responde de forma diferente a cada color debido a su estructura atómica.

Gato Carmelo: ¡Uhm!

El arco iris

Hámster Isaac: Entonces, la dispersión cromática es la descomposición de la luz blanca en todos sus colores debido a que cada color se refracta de manera diferente cuando pasa de un medio a otro. Un ejemplo espectacular de esto es la formación de un arco iris, que se forma porque la luz blanca del Sol se dispersa cromáticamente y se refleja dentro de las gotas de lluvia, te lo muestro en una figura. Primero, la luz se dispersa al pasar a través de una gota (punto A), y al llegar nuevamente a la superficie

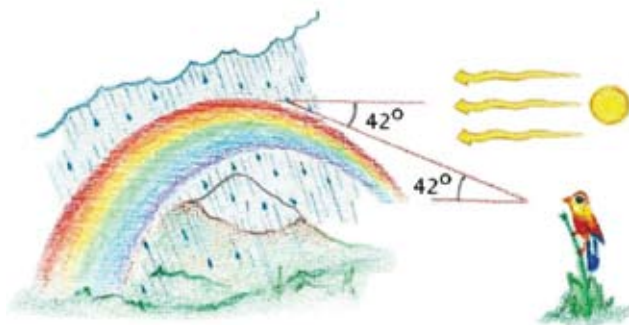


(punto C) sufre una reflexión, hecho muy similar a lo que ocurre en un espejo. De esta forma, una fracción de la luz proveniente de A se refleja hacia B y otra se transmite hacia D, la cual no llega a los ojos del observador (E). Luego de esta reflexión, los rayos continúan separándose hasta salir de la gota (punto B). Por lo tanto, cada gota

provoca una pequeña dispersión a la luz del Sol y todas las gotas que se encuentran en una posición adecuada entre el observador y el Sol contribuyen a que veamos una imagen virtual de un arco multicolor llamado precisamente arco iris.

Para un ángulo de 42° entre la dirección de observación y la dirección de incidencia de la luz el fenómeno es más notorio. Además de esto, si se toma en cuenta la simetría esférica de las gotas, es decir, que se les percibe igual desde cualquier dirección, entonces todas las gotas que cumplen con dicho ángulo forman un arco circular.

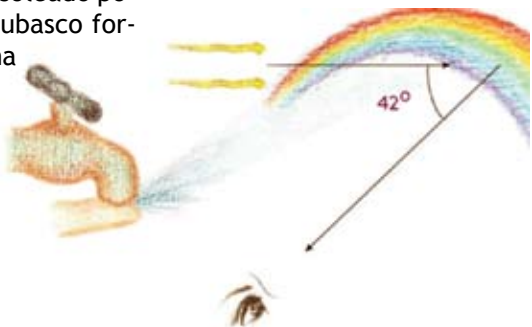
Gato Carmelo: ¡Uhm!



El arco iris se forma debido a la dispersión cromática y a la reflexión de la luz proveniente del Sol dentro de las gotas de agua de lluvia.

Crea un arco iris

Hámster Isaac: En un día soleado podemos crear un pequeño chubasco forzando la salida de agua de una llave o de una manguera con un dedo. Luego, para observar el arco iris sólo tenemos que cuidar que el ángulo entre la dirección de incidencia de la luz y la dirección de observación sea de 42° .



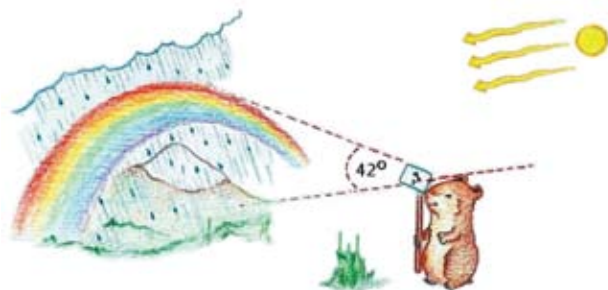
¿Cómo medir el tamaño de un arco iris?

Hámster Isaac: Dime, Carmelo, ¿cómo crees que podrías medir el tamaño angular del arco iris?

Gato Carmelo: ¿Con una regla? ¿No?

Hámster Isaac: No precisamente, pero te propongo que hagas este otro **experimento**. Corta un trozo de cartón en forma rectangular, de unos 10 x 20 cm y colócalo en algún soporte vertical mediante un clavo. Apunta uno de los extremos del papel hacia la orilla de la parte más alta del arco iris. Mide el ángulo entre la sombra del clavo, que indicará la dirección de la luz del Sol, y dicha orilla del papel. Este ángulo es la mitad del tamaño angular del arco iris y alrededor de unos 42° . Ése es el tamaño del arco iris.

Gato Carmelo:
¡Miau!



El disco de Newton

Hámster Isaac: Carmelo, para recombinar luz de diferentes colores y así obtener luz blanca se puede, ya sea utilizar el arreglo de los dos prismas o también un disco que contenga ciertos colores. Cuando al disco se le hace girar, por ejemplo al unirlo a un ventilador o a un rehilete, tus ojos perciben al disco de un color cercano al blanco.

Disco de Newton, usado en la obtención del color blanco a partir de la combinación de diferentes colores. Se le puede hacer girar con la ayuda de un hilo como se muestra en la figura.



La polarización de la luz

Hámster Isaac: Carmelo, como ya sabes ahora, para que se forme un arco iris se necesita que haya lluvia y luz del Sol, es decir, el cielo no debe estar completamente nublado. Además, el ángulo entre la dirección de incidencia de la luz y la dirección de observación debe ser de 42° .

En un día con lluvia y Sol localiza el arco iris. Consigue unos lentes oscuros del tipo polarizados y observa el arco iris; ¿qué pasa?... ¡parte del arco desaparece! Sin quitarte los lentes, gira tu cabeza unos 90° en cualquier dirección y observa el cambio.

Además del color, otra característica importante de la luz es la polarización. Los lentes polarizados, al igual que algunos insectos y a diferencia de los seres humanos, tienen la capacidad de detectar la polarización. Los lentes polarizados se diseñan para bloquear o absorber la luz de determinado tipo de polarización. Se sabe que la luz reflejada en las gotas de agua adquiere diferente polarización dependiendo de la posición de éstas sobre el arco iris. Por ello, cuando se observa al arco iris con lentes polarizados, la luz proveniente de determinadas partes del arco es totalmente bloqueada y la de otras, transmitida parcialmente hacia nuestros ojos.

Gato Carmelo: ¡Polarización!, eso tampoco lo había oído antes.

Crea tu propio espectro de color

Hámster Isaac: Carmelo, consigue un espejo y colócalo en un recipiente con agua. Usa una hoja blanca para observar la luz reflejada por el espejo a unos dos metros de distancia. Lo que observarás sobre la hoja será un hermoso espectro de color. ¿Cómo se formó? Toma en cuenta que de todos los rayos de luz que le llegan al espejo, algunos entran al agua para reflejarse en el espejo y luego se refractan cuando salen del agua. Estos rayos sufren el mismo efecto que aquellos mencionados en la formación del arco iris, es decir, se refractan dos veces y se reflejan una vez. Observa que en realidad no existen sólo siete colores sino una infinidad de ellos. Por ejemplo, si observas con cuidado el espectro formado, puedes notar que existe una gran cantidad de tonalidades de rojos, verdes, etcétera.

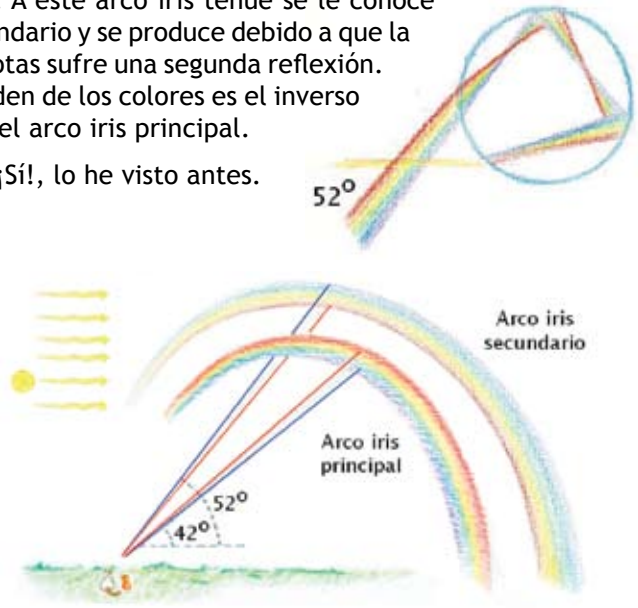


El arco iris secundario

Hámster Isaac: Carmelo, si observas con mucho cuidado un arco iris, puede ser que notes la presencia de otro de poca intensidad alrededor del primero. A este arco iris tenue se le conoce como arco iris secundario y se produce debido a que la luz dentro de las gotas sufre una segunda reflexión. En este caso, el orden de los colores es el inverso al que aparece en el arco iris principal.

Gato Carmelo: ¡Sí!, lo he visto antes.

Además del arco iris principal se forma otro arco iris un poco más arriba de éste. A este arco se le conoce como arco iris secundario.



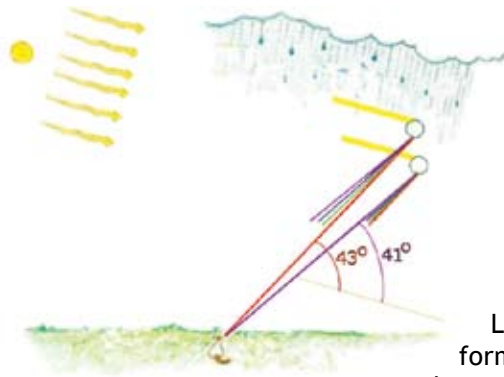
Detalles curiosos acerca del arco iris

Gato Carmelo: ¿Y se puede atravesar un arco iris?

Hámster Isaac: No. Cuando uno se para en un lugar, ve el arco iris originado por todas las gotas de agua que cumplen con un ángulo de 42° entre la dirección de incidencia de la luz y la de observación. Cuando uno se mueve hacia el arco iris, otras gotas de agua diferentes a las anteriores son las que cumplen con el ángulo anterior. Por lo tanto, cuando uno se mueve, el arco iris también lo hace y pareciera que permanece fijo; claro, mientras haya gotas de lluvia que reflejen luz hacia nuestros ojos.

Gato Carmelo: Veo que en el arco principal el rojo está arriba del violeta, pero de acuerdo con lo que le pasa a la luz en una sola gota de agua, esto debiera ser al revés.

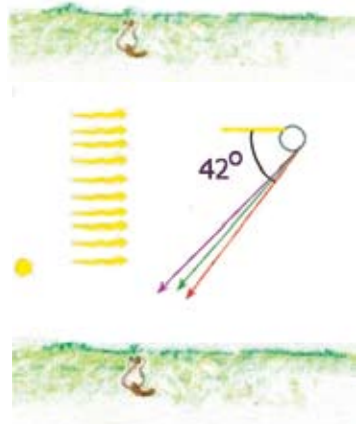
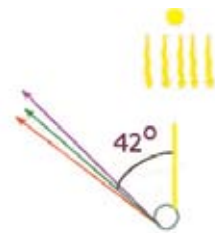
Hámster Isaac: Muy buena observación. El ángulo de 42° al cual se localiza el arco respecto de la dirección de incidencia de la luz sobre las gotas es, en realidad, un promedio. Para la componente roja, el ángulo exacto es de 43° y para la violeta es de 41°. Esto da origen a que el ancho angular del arco iris sea de $43^\circ - 41^\circ = 2^\circ$. Cuando la componente roja dispersada desde cierta gota alcanza los ojos de un observador, la componente violeta



no lo hace. Sin embargo, la componente violeta, desde una gota localizada 2° por debajo de la anterior, sí lo hace. De esta forma, el rojo proviene de las gotas que se encuentran en la parte más externa del arco iris y el violeta de las que se encuentran en su parte más interna.

Las gotas que contribuyen a la formación del arco iris tienen un diámetro aproximado entre 0.25 mm y 4 mm. La forma de las gotas mayores tiende a achatarse en su viaje hacia el suelo; esto es contrario a lo que se piensa, es decir, que las gotas son alargadas. En cambio, la forma de las más pequeñas es esférica.

El ángulo de 42° entre la dirección de incidencia de la luz y la de observación también tiene influencia sobre los momentos del día en los cuales se puede observar un arco iris. Cuando el Sol está alto en el cielo, por ejemplo al mediodía, la luz del arco generalmente no alcanza a un observador y en ese momento del día es muy raro ver un arco iris desde tierra. Sin embargo, por las tardes o por las mañanas cuando el Sol está casi en el horizonte, es posible ver un arco iris en todo su esplendor.



En estas figuras se representa a una sola gota de agua y la dispersión cromática que causa en un rayo de luz para los casos del mediodía (figura arriba) y del atardecer (o amanecer), figura abajo.

El mundo de los colores

Hámster Isaac: Carmelo, finalmente te voy a describir la forma por la cual podemos percibir el color de los diferentes objetos que nos rodean. A la mayoría

de los objetos los podemos ver porque se les ilumina. Hay objetos que tienen luz propia, por ejemplo el Sol, una lámpara o una luciérnaga. Se puede pensar en un objeto como si estuviera formado por muchos puntos, donde cada punto recibe luz; una parte la absorbe y una parte la esparce en todas direcciones. Si algunos rayos de esa luz esparcida llegan a los ojos de un observador, entonces el observador puede ver el objeto. Si el objeto la absorbe toda, entonces no llega luz al observador y por lo tanto se le percibe de color negro. Así, el negro es ausencia de luz y propiamente no es un color. Similarmente, si en algún lugar hay luz pero no hay algún objeto que la refleje hacia nuestros ojos, todo se ve negro. Esto explica por qué el color del cielo por las noches es negro, excepto por las estrellas y planetas. Las estrellas tienen luz propia porque son como nuestro Sol; pero los planetas y la Luna no tienen luz propia, pero brillan, ¿por qué?

Gato Carmelo: ¡Porque reflejan la luz del Sol!

Hámster Isaac: ¡Muy bien! Adicionalmente, si los objetos no absorben toda la luz, entonces se les percibe del color de aquella parte de luz que sí reflejan. En el caso de una moneda roja, se le percibe de ese color porque absorbe toda la luz blanca excepto la parte de color rojo. Similarmente, si a un objeto que se le ilumina con luz blanca se le percibe de color amarillo, se debe a que absorbe el azul, es decir, refleja el verde y el rojo, principalmente. Así, al iluminar a un objeto amarillo con luz azul, el objeto se verá negro porque la luz que le llega es totalmente absorbida.



Se sabe que al combinar solamente tres colores, llamados colores primarios, se pueden obtener todos los demás, dependiendo de la cantidad que se usa de cada uno de ellos. Un conjunto de colores primarios es el rojo, el verde y el azul. De esta forma, por ejemplo, si combinamos partes iguales de rojo y verde obtenemos amarillo, y si combinamos partes iguales de verde y azul obtenemos azul cielo. La combinación de los tres colores primarios en partes iguales produce el blanco. Otro conjunto de colores primarios es el formado por el azul cielo, el magenta y el amarillo. Cuando a estos colores se les combina en partes iguales producen el color negro. En pintura es común tomar al rojo, al azul y al amarillo como colores primarios.

Como nota interesante, el color que más se usa en las banderas de los países es el rojo, uno de los colores que más llama la atención debido a que generalmente se le relaciona con el color del fuego y de la sangre.

Gato Carmelo: Entonces, ¿es por eso que al rojo se le usa como señal en los semáforos?

Hámster Isaac: Exactamente. Por otra parte, otros colores en la naturaleza, por ejemplo el azul del cielo o el blanco de las nubes, no pueden ser explicados usando solamente el fenómeno de absorción.

Además de la reflexión, absorción y refracción, existe otro fenómeno llamado esparcimiento. En este caso, se consideran objetos formados a su vez por otros muy pequeños que absorben y esparcen luz en casi todas direcciones. Estos pequeños objetos pueden ser, por ejemplo las distintas moléculas que forman el aire, las gotas de agua que forman las nubes, los granos de material que forman un gis, los cristales de hielo que forman la nieve, las partículas que forman la leche, etcétera.

Si no hubiera atmósfera con todas sus partículas, el cielo durante pleno día sería negro (excepto por la luz de las estrellas y planetas), ya que no habría nada que esparciera la luz del Sol hacia nuestros ojos. Lo anterior quedó constatado en las primeras fotografías tomadas desde la Luna a plena luz del día, en 1969, donde el cielo en la Luna aparece como un trasfondo negro. Esto se debe a que la atmósfera de la Luna es muy tenue y casi no contiene material que esparza luz.



Gato Carmelo: ¡Qué interesante, un cielo negro a plena luz del día!

Hámster Isaac: Cuando las pequeñas partículas tienen un tamaño menor que un cincuentavo del grosor de un cabello, por ejemplo las distintas moléculas que forman el aire, qué tanta luz esparce una partícula depende del color con el que se le ilumina. Una molécula de nitrógeno (de la cual el

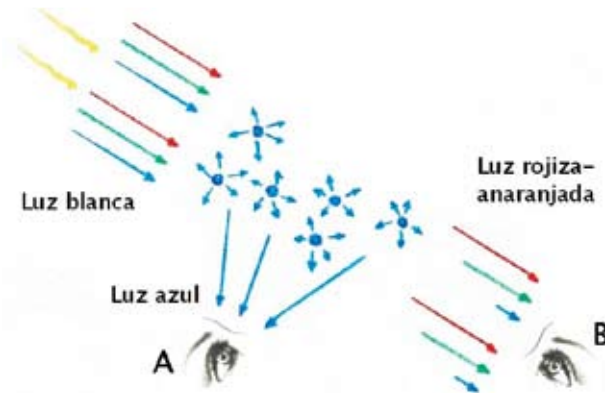
Esta fotografía fue tomada el 20 julio de 1969, por el primer hombre que pisó la Luna, el astronauta Neil A. Armstrong. En ella, en primer plano aparecen Edwin E. Aldrin y un módulo de experimentación sísmico; al fondo el módulo lunar Eagle (Águila), y en medio, marcado con una flecha, un espejo retroreflector. Con este último dispositivo se pudo saber que la Luna se aleja de la Tierra 3.8 cm por año. Fotografía cortesía de la NASA, ASI-40-5948, http://grin.hq.nasa.gov/BROWSE/apollo11_1.html.

aire contiene 78%) esparce principalmente el azul; los demás colores también son esparcidos pero en menor cantidad. Ésta es una de las principales razones por las cuales el cielo aparece de color azul en cualquier dirección que se le vea. Esto también explica el rojo de los atardeceres, ya que la componente de azul en esos periodos llega a nuestros ojos muy disminuida.

Gato Carmelo: Pero a medio día la parte del cielo cercana al Sol no se ve roja. ¿Por qué?

Hámster Isaac: ¡Muy buena observación! En este caso, la luz cercana a la dirección del Sol presenta más bien un tono amarillo claro. La diferencia del color percibido a mediodía del percibido al atardecer tiene que ver con la diferente cantidad de azul presente en la luz que logra llegar a un observador. Si la cantidad de azul fuera nula, la luz tendría un tono naranja-rojizo; en cambio, si llegara una pequeña cantidad de azul combinada con los demás colores, el resultado sería luz con un tono amarillento. En los atardeceres la cantidad de azul que logra llegar a un observador es menor, ya que en ese periodo del día la luz blanca proveniente del Sol debe viajar a través de una mayor cantidad de aire que en cualquier otro momento del día y por tanto, en ese momento es cuando la componente de luz azul sufre el mayor esparcimiento y entonces casi no llega a un observador.

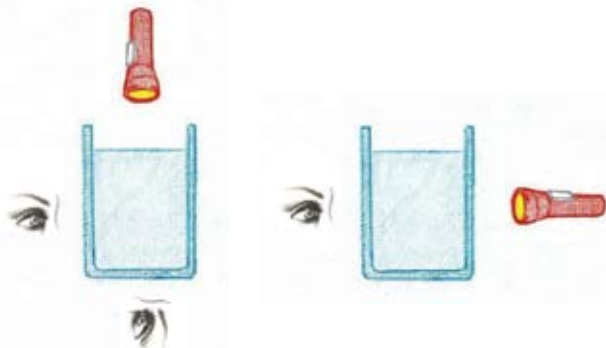
Gato Carmelo: ¡No dejo de asombrarme!



Esparcimiento de la luz blanca (la cual contiene iguales cantidades de rojo, verde y azul) por las distintas moléculas del aire (puntos azules). Las flechas azules representan el esparcimiento principalmente de luz azul.

Hámster Isaac: Para constatar lo anterior, invitemos a nuestros amigos a que hagan el siguiente **experimento**. Consigan un vaso de vidrio transparente y llénelo con agua (unos 350 mililitros). Luego, añádanle de 20 a 40 gotas de leche (1-2 mililitros) y revuelvan bien la mezcla. En un cuarto oscuro, pídanle a un amigo que ilumine con una linterna al vaso desde arriba. Si lo observan de lado, podrán notar que la luz tiene un color azul cielo muy pálido. En cambio, si lo observan por debajo, percibirán que la luz proveniente de la linterna tiene un color naranja-rojizo. En este experimento las partículas de leche (moléculas de grasas y proteínas) tienen el mismo efecto sobre la luz blanca de la linterna que el que tienen las diferentes moléculas del aire sobre la luz blanca del Sol. Finalmente, si iluminan al vaso por uno de los costados y observan por el lado opuesto, ¿qué esperarían ver? Pues nuevamente luz con un tono rojizo, pero no tan rojizo como en el caso anterior, ya que en este caso la luz atraviesa menos “leche en agua” y por lo tanto, no alcanza a esparcir mucho azul.

Experimento que demuestra el esparcimiento de la luz blanca por causa de disolución de leche en agua. Observa lo que pasa cuando ves la luz esparcida por medio de unos lentes polarizados en las diferentes posiciones del observador. En cada posición gira las lentes.



Hámster Isaac: Ahora bien, si los objetos se componen de pequeñas partículas un poco mayores que las partículas descritas anteriormente, entonces el esparcimiento de la luz ya no tiene preferencia por los colores y los pequeños objetos esparcen todos los colores en iguales cantidades. El resultado de esto es que un observador recibe todas las componentes de colores y por tanto, percibe a la luz esparcida de color blanco.

Precisamente esto ocurre cuando el Sol ilumina a las pequeñas gotas de agua que conforman una nube y esto hace que se les perciba de color blanco. Sin embargo, ¿por qué algunas nubes se ven oscuras?

Gato Carmelo: No les llega mucha luz...

Hámster Isaac: ¡Precisamente! En ocasiones las partes más altas de la nube proyectan sombras sobre las partes más bajas, y en esta forma las partes bajas reciben menos luz; y por lo tanto, no hay mucha luz que

esparzan. Adicionalmente, si una nube es relativamente gruesa, entonces a una de sus orillas le llega poca luz y esto también puede ocasionar que se le perciba de un color oscuro.

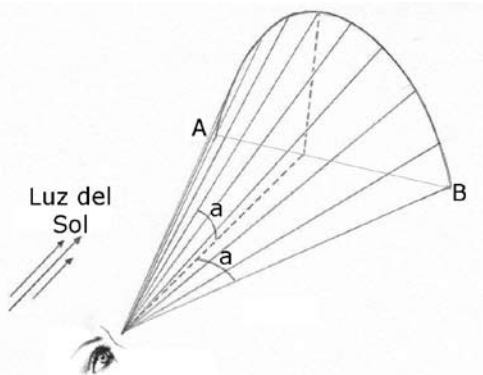
Gato Carmelo: ¡Ah!

Hámster Isaac: El mismo mecanismo que origina la blancura de las nubes hace que a la sal, el azúcar, la espuma, los gises, la nieve, etc., también se les perciba de color blanco. Las minúsculas partículas que conforman a estos objetos, sin embargo, son transparentes a la luz, individualmente. Esto lo puedes constatar observando un sólo grano de sal y luego a un montón de ellos. En el primer caso, al grano se le percibe transparente, pero al montón se le ve de color blanco. Algo similar ocurre con las burbujas, individualmente son transparentes, pero al juntarse para formar espuma, se les percibe de color blanco.

Gato Carmelo: ¡Claro! ¡No me había dado cuenta!

Conclusión

Hámster Isaac: Carmelo, ahora ya es posible contestar tus preguntas iniciales respecto del arco iris: a) ¿de qué está hecho?; b) ¿por qué es un arco circular?; y c) ¿por qué tiene colores? Las respuestas son las siguientes: a) de luz, b) primero, en una gota de agua los fenómenos de dispersión cromática y refracción son más notorios a un ángulo bien preciso entre la dirección de la luz y la dirección de observación. Segundo, debido a la geometría esférica de las gotas, todas las gotas que cumplen con el anterior ángulo reflejan luz en forma similar. Tercero, todas estas gotas localizadas a un ángulo constante desde un observador, generan un cono con su ápice en los ojos del observador, y la proyección de ese cono sobre la pared de lluvia es un arco de círculo. c) Debido a la dispersión cromática de la luz producida por las gotas de agua cuando hay lluvia.



En esta figura se muestra que la proyección de un medio cono sobre un plano es la base del cono, es decir, un semicírculo. Un cono es una figura geométrica que se obtiene al girar una línea recta alrededor de un eje de revolución (línea punteada central) a un ángulo constante, a . Esto ocurre en el arco iris, donde $a=42^\circ$ y la dirección de la luz

proveniente del Sol corresponde al eje de revolución. En este dibujo sólo se muestra la mitad del cono, ya que esto es lo que generalmente sucede al formarse un arco iris, es decir, no hay gotas de agua más abajo del suelo que contribuyan con la otra mitad del cono o equivalentemente con la otra mitad del círculo. Sin embargo, si observamos la lluvia desde un avión o desde una montaña es posible que podamos observar el círculo completo. En la figura se puede apreciar que el tamaño angular del arco iris es de $2\alpha=84^\circ$, es decir, es el número de grados que hay entre dos puntos diametralmente opuestos sobre el arco iris, por ejemplo entre A y B. En esta misma figura también se aprecia que dos diferentes personas dan lugar a conos diferentes debido a la diferencia en sus posiciones, y por lo tanto, ven arcos iris ligeramente diferentes.

Gato Carmelo: Ahora entiendo el porqué de la palabra “arco”, pero aún no sé el porqué de la palabra “iris”.

Hámster Isaac: La palabra “iris” proviene del nombre de una diosa de la mitología griega, a quien entonces se le tomaba como la personificación del arco de luz multicolor. Por ello, ahora a ese arco lo conocemos como arco iris. En la actualidad a la palabra “iris” se le asocia con algunas cosas coloridas, por ejemplo, con la parte que define el color de nuestros ojos.



Amigos, antes de despedirnos, Carmelo y yo los invitamos a que realicen todos los experimentos que aquí planteamos. Recuerden las sabias palabras de Confucio, “Me lo contaron y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí”.

¡Qué plática tan interesante tuvieron nuestros dos amigos, Isaac y Carmelo! Gracias a ellos pudimos aprender muchas cosas. Ojalá nos inviten a su siguiente plática.

Agradecimientos

Quiero dar mi más sincero agradecimiento al Ing. Luis Adán Martínez Jiménez por la edición de los dibujos y a la L. C. Tzaidel Vilches Muñoz por haber revisado el estilo del manuscrito. De igual forma quiero agradecer a los siguientes doctores, Jorge García Márquez, Efraín Mejía Beltrán, Bernardo Mendoza Santoyo, Susana A. Alaniz Álvarez, Ángel F. Nieto Samaniego y Manuel Lozano, quienes revisaron el aspecto técnico del documento.

Acerca del autor

Bernardino Barrientos García se graduó como ingeniero electromecánico por el Instituto Tecnológico de León en 1993. Obtuvo su maestría y doctorado en ciencias, con especialidad en Óptica, en el Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. (CIO), en 1994 y 1999, respectivamente. Actualmente es investigador en el CIO. Su área de investigación es la aplicación de técnicas ópticas en mecánica.



Acerca de Isaac Newton (1643–1727)

Es considerado el científico más importante en la historia de la ciencia. Nació el 4 de enero de 1643 en Woolsthorpe, Lincolnshire, Inglaterra. Durante su periodo de estudiante se caracterizó por ser un autodidacta. En 1665 obtuvo un grado en artes por parte de la Universidad de Cambridge. En aquellos tiempos, para obtener dicho grado se debía mostrar conocimiento en diversas áreas, tales como historia, latín, matemáticas, religión, etc. El periodo entre 1664 y 1689 fue para Newton el más productivo en su actividad científica ya que hizo contribuciones relevantes en diversas ramas de las matemáticas y de la física, tales como la descripción de la naturaleza de la luz, la invención del cálculo, la generalización del teorema del binomio, la formulación de las leyes tanto de la mecánica clásica como de la ley de enfriamiento y de la ley de la gravitación universal. En 1685 publicó la que es considerada la obra científica más importante de todos los tiempos, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Principios Matemáticos de la Filosofía Natural). Este libro, al igual que la mayoría de los libros de ciencia de los siglos XVII y XVIII, fue escrito en latín. En la actualidad, el idioma que más se utiliza para comunicar los avances científicos en todo el mundo es el inglés.

Es famosa la anécdota de que a Newton se le ocurrió la ley de la gravedad al ver caer una manzana de un árbol. Al parecer, con esto se dio cuenta de que la manzana cae hacia el suelo por influencia de la Tierra a través de una fuerza invisible, llamada fuerza de gravedad. Él conjeturó que esta misma clase de influencia existiría entre cualquier otro par de

objetos, por ejemplo la Tierra y la Luna. Con la ley de la gravedad, Newton pudo explicar fenómenos físicos importantes, tales como el movimiento de los planetas y el origen de las mareas.

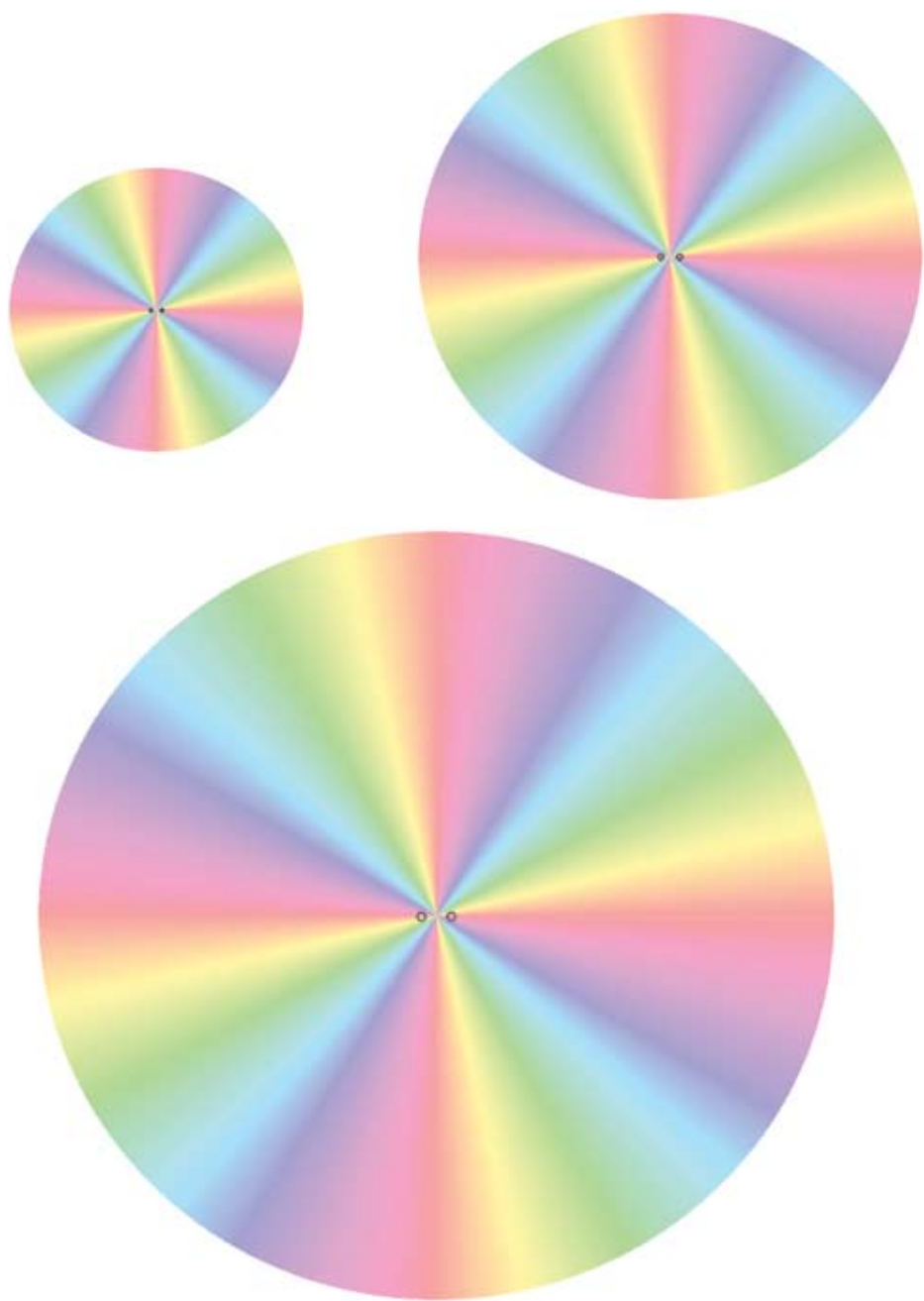
Usando sus observaciones de la dispersión cromática de la luz, Newton se percató de que los telescopios de su tiempo, los cuales eran usados para ver objetos lejanos (por ejemplo planetas), formaban imágenes diferentes para cada color, lo cual ocasionaba que las imágenes finales de los objetos fueran borrosas. Él notó que este problema se debía a que se usaban lentes de vidrio en los telescopios. Newton trató de resolver este problema usando diferentes combinaciones de vidrios, pero debido a la baja calidad de los vidrios de su época no alcanzó su objetivo. Sin embargo, este problema lo resolvió por medio del uso de espejos. Los espejos no producen dispersión cromática debido a que la luz no atraviesa ningún material. En la actualidad, la mayoría de los telescopios más potentes en el mundo son construidos mediante el uso de espejos. Newton construyó su telescopio de espejos en 1670.



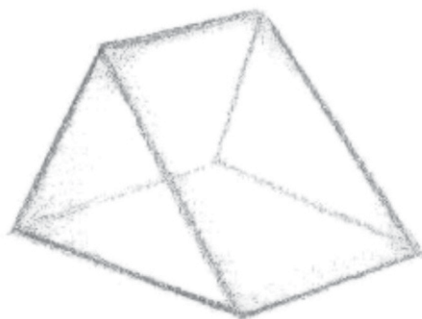
Esquema de la luz proveniente de un objeto muy lejano, por ejemplo de una estrella. La luz incide sobre un espejo situado en la parte trasera del telescopio y se refleja hacia un espejo más pequeño. Después la luz pasa a través de un conjunto de lentes, llamado ocular, para así formar una imagen del objeto lejano en el ojo del observador.



Telescopio Newtoniano construido en el Centro de Investigaciones en Óptica (León, Guanajuato).



“Experimentos simples para entender una Tierra complicada. 2. La Luz y los colores” editado por el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, se terminó de imprimir el 1 de noviembre de 2011 en los talleres de Santana Impresores, Av. Lázaro Cárdenas 2795, Jardines del Bosque, Guadalajara, Jal. 44520. El tiraje consta de 5 800 ejemplares, se realizó mediante offset en papel couche de 100 g/cm². Las fuentes utilizadas fueron Trebuchet MS y Lucida Sans Unicode 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 “La descomposición de la luz” de Isaac Newton.

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 pendiente 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 250172

