

## ¿A DÓNDE SE FUE LA LUZ?

(Publicado por primera vez en “Revista Universitaria- UABC No. 48, octubre-diciembre 2004)

Guadalupe Lydia Alvarez Camacho  
*Instituto de Ingeniería, UABC*

Jesús M. Siqueiros Beltrones  
*Centro de Ciencias de la Materia Condensada, UNAM*

Ilustraciones: César Gilberto García Vargas

### La luz no es electricidad

A veces, cuando es de noche, y el servicio que nos proporciona Comisión Federal de Electricidad (CFE) se interrumpe de repente, la televisión, la radio y los aparatos de refrigeración dejan de funcionar. Sin embargo, lo más destacable es que nos quedamos completamente a oscuras. “Se fue la luz” dice la gente. En el Distrito Federal, la compañía que ofrece los mismos servicios que CFE se llama “Luz y Fuerza del Centro (LyF)”. Pero lo que la CFE y LyF proporcionan no es ni luz, ni fuerza: es energía eléctrica. Cuando un apagón ocurre al mediodía, se sigue diciendo que “se fue la luz”, aunque en realidad la luz no se haya ido a ningún lado. No nos quedamos a oscuras porque la luz del sol brilla en todo su esplendor.



**Figura 1:** Cuando se interrumpe el servicio de energía eléctrica, es usual decir que "se fue la luz". Esta expresión popular confunde a más personas de lo podría pensarse.

Hecha la aclaración de que la energía eléctrica no es luz, es oportuno decir que la luz sí es una forma de energía. La *intensidad* de la luz está relacionada con la cantidad de energía que transporta. La energía luminosa puede transformarse en energía de otros tipos como la energía eléctrica misma, o también energía química o calorífica. Los paneles de energía solar transforman la luz en energía eléctrica; los aparatos que funcionan con energía solar abarcan desde calentadores de agua, hasta calculadoras de bolsillo. Por otra parte, las plantas transforman

la luz en energía química; todos los seres vivos, ya sea directa o indirectamente, se alimentan de la glucosa que las plantas generan por medio de la fotosíntesis. La luz también genera energía calorífica, que es indispensable para la vida; lo inhóspito de los polos geográficos, en donde la luz del sol es escasa, contrasta con la diversidad biológica que se encuentra en las zonas del ecuador, en donde la luz del sol llega abundantemente.

## La luz nos permite ver

El máspreciado de nuestros sentidos es el sentido de la vista. Si nuestros ojos y la corteza visual del cerebro funcionan apropiadamente, somos capaces de conocer la forma y el color de un objeto, es decir, su *imagen*. Sin el sentido de la vista, podríamos utilizar el tacto para conocer la forma de un objeto, pero no podríamos hacerlo si estuviera más allá de nuestro alcance o fuera de gran tamaño. Para saber la forma de una montaña necesitaríamos tener un modelo a escala al alcance de la mano. Por otra parte, sin el sentido de la vista es imposible percibir el color.

Dando por supuesto que se dispone de los órganos de la visión apropiados, el requisito fundamental para poder ver es la presencia de luz. Por muy aterrador que resulte, en la oscuridad todos somos ciegos. La luz del ambiente incide sobre los objetos a nuestro alrededor. Estos objetos, absorben parte de la luz recibida, mientras que el resto la esparcen en todas direcciones. Esta luz esparcida entra en la retina y forma ahí una imagen, que el cerebro posteriormente procesa e interpreta. La intensidad de la luz también debe tomarse en cuenta. Con luz de intensidad muy baja, la visión se dificulta, mientras que las intensidades muy altas pueden lastimar los ojos. Cuando la intensidad de la luz es apropiada para poder ver, se dice que se tiene buena iluminación.

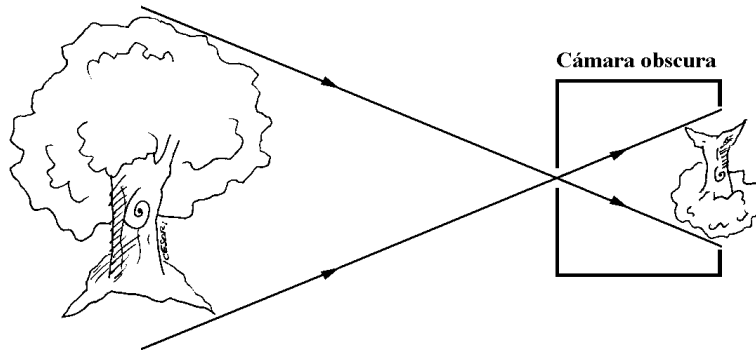
Aún con buena iluminación, sólo podemos ver lo que está frente a nuestros ojos y no lo que está a nuestras espaldas. Parece obvio, pero el sentido del oído no sufre de esta limitación. “La carne de burro no es transparente” decimos cuando alguien se coloca frente al televisor y no podemos ver nuestro programa favorito. Y sin embargo, la obstrucción por obra de un hermano incómodo no es un problema cuando estamos escuchando la radio. Al parecer, la luz viaja en línea recta y no puede “sacarle la vuelta” a los obstáculos como lo hace el sonido.



Figura 2: "La carne de burro no es transparente" decimos cuando alguien se atraviesa frente al televisor. La presencia de un obstáculo opaco entre nuestros ojos y un cierto objeto, impide que podamos verlo. El sentido del oído no sufre de esta limitación.

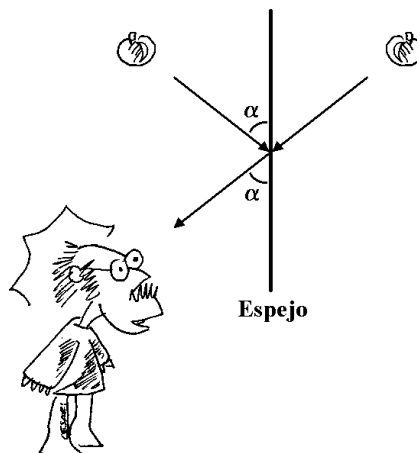
## La luz forma imágenes

Ya comentamos que la luz es el medio por el cual las imágenes de los objetos llegan hasta nuestros ojos. Sin embargo, este no es el único caso en que la luz transporta imágenes. Por ejemplo, si se hace un pequeño orificio en la pared de una caja o de un cuarto cerrado, la luz que entra a través del orificio proyecta sobre la pared posterior una imagen invertida del paisaje exterior. A este dispositivo se le conoce como *cámara obscura* y funciona mejor cuando el orificio tiene el tamaño preciso. Esto es exactamente lo mismo que ocurre dentro del ojo, en el que la luz proveniente de los objetos atraviesa la pupila y proyecta una imagen invertida sobre la retina.



**Figura 3:** En una cámara oscura se proyecta una imagen sobre la pared posterior de una caja cerrada a través de un orificio. La formación de imágenes en la retina o en una cámara fotográfica sigue este mismo proceso.

La imagen retinal no serviría de nada sin la interpretación que de ella hace el cerebro, interpretación cuyo primer paso podría ser enderezar la imagen. En realidad, la interpretación de las imágenes retinales es un proceso bastante complejo en el que se requiere de establecer hipótesis con alta probabilidad de ser verdaderas. Entre estas hipótesis, una de ellas es suponer que toda la luz que entra a la retina ha seguido una trayectoria rectilínea. La hipótesis es razonable porque esa es la forma en que la luz viaja casi todo el tiempo. Sin embargo, cuando la luz sufre desviaciones de su trayectoria, la hipótesis falla y la interpretación del cerebro nos puede llevar a ver imágenes que no corresponden a la posición de los objetos.



**Figura 4:** La imagen en un espejo parece provenir del interior de éste, debido al ángulo en que la luz se desvía durante el fenómeno de reflexión.

Un ejemplo lo vemos todas las mañanas cuando nos acicalamos: nuestra imagen en el espejo. Esta imagen es tan buena que casi podemos creer que tenemos un hermano gemelo viviendo dentro, en un mundo al revés. En realidad, la imagen es producto del fenómeno de *reflexión*. Un rayo de luz que incide sobre el espejo se desvía en una nueva dirección, tal que los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con el plano del espejo sean iguales, como se ve en la figura 4. Debido a esta relación de los ángulos, el rayo alcanza la retina con la misma dirección que tendría si hubiera viajado en línea recta desde el interior del espejo. Así, la hipótesis del cerebro de que la luz siempre viaja en línea recta, provoca que veamos objetos dentro del espejo.

Otro ejemplo lo podemos ver cada vez que introducimos una cuchara en un líquido. Si el líquido es claro, es fácil observar que la cuchara parece doblarse justo en la superficie del agua. Esto se debe al cambio de dirección que sufre la luz al pasar de un medio a otro, esto es, a la *refracción*. La pesca con lanza, que es el medio de sustento en algunas culturas, requiere de un conocimiento empírico de la refracción. La luz esparcida por un pez se refracta cuando pasa al aire, y al ignorar este cambio de dirección, el cerebro la interpreta como proveniente de un lugar diferente. Por eso, el lugar donde vemos el pez no es el mismo lugar donde está en realidad. Un pescador con lanza experto no se deja engañar, arroja su lanza con certeza y se consigue una buena cena.



**Figura 5: Debido a la desviación de la luz en la superficie del agua, la posición aparente del pez no es la misma que la real. La pesca con lanza requiere de un conocimiento empírico de la refracción.**

Las imágenes que la luz forma pueden clasificarse en reales y virtuales. Una *imagen real* es aquella que puede proyectarse sobre una pantalla, como la que se forma en una cámara oscura. Una *imagen virtual*, en cambio, puede verse, pero no puede proyectarse. Nuestra imagen en un espejo y la imagen mal ubicada de los peces bajo el agua son ambas imágenes virtuales.

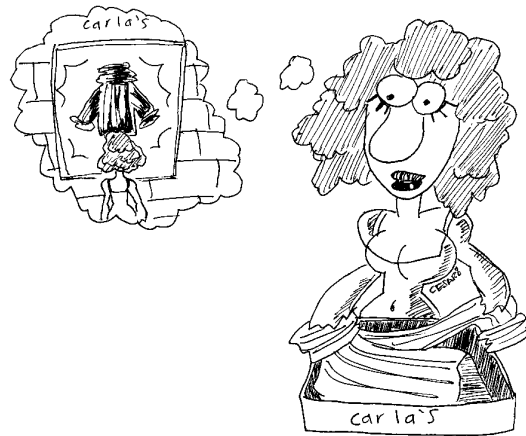
### **La luz tiene color**

En ocasiones ocurre que vamos a una tienda departamental y nos compramos un suéter del color perfecto, que combina con el color de nuestros ojos. Sin embargo, al llegar a casa y abrir la caja, descubrimos que su color ha cambiado. ¿Por qué ocurre esto? El color de un objeto no es más que el color de la luz que éste esparce. La luz del sol es blanca, esto es, está compuesta por luz de todos los colores. A la luz del sol, una esmeralda se ve verde porque esparce la luz verde y absorbe la demás. La esmeralda seguiría viéndose verde si se iluminara con luz verde pero si se iluminara con luz roja, se vería negra ya que no habría luz verde que esparcir. Si la iluminación

de una tienda no es blanca, la ropa puede lucir muy diferente dentro de la tienda a como se ve a la luz del día.

En uno de los experimentos que lo hizo famoso, Isaac Newton logró separar la luz del sol en sus componentes originales. Ya que el ángulo de refracción depende del color de la luz, al hacer pasar luz blanca a través de un prisma, las distintas componentes toman diferentes caminos y proyectan sobre una pantalla un patrón con los colores del arco iris. A este patrón se le conoce como *espectro*. Si el espectro de la luz solar se analiza detalladamente se encuentra que en realidad no es un continuo sino que presenta líneas negras en ciertos puntos específicos. La presencia o ausencia de colores en un espectro sirve para conocer el origen de la luz.

Si se excita un gas por medios eléctricos, los colores de la luz emitida son característicos de los elementos que el gas contiene. Cada elemento de la tabla periódica tiene su *espectro característico*. El espectro característico se usa para identificar elementos, del mismo modo que las huellas digitales se usan para identificar a una persona. Si la luz que llega de las estrellas se hace pasar por un prisma, el espectro obtenido nos permite decir de qué elementos están formadas. Por ejemplo, el detalle fino de un espectro como el obtenido por Isaac Newton, nos dice de qué elementos está formado el sol. A la identificación de los materiales a partir de sus espectros característicos se le conoce como *espectroscopía*.



**Figura 6:** A veces, después de comprar una prenda con el color perfecto, llegamos a nuestra casa sólo para descubrir que su color es diferente al que esperábamos. La percepción que tenemos del color de un objeto depende del color de la luz con que se ilumina, por lo que ciertos tipos de iluminación pueden provocar sorpresas.

Otra forma de hacer que un cuerpo emita luz es calentándolo. El color que un cuerpo emite es un buen indicador de su temperatura. Esta relación permanece constante para cuerpos de diferentes composiciones químicas. A la radiación que emite un cuerpo al calentarse se le llama *radiación de cuerpo negro*. El nombre no es muy afortunado, porque no tiene nada que ver con que el cuerpo sea de color negro. Sin embargo, ese es el nombre técnico, y así es como se encontrará en cualquier libro si es que se quiere estudiar con más profundidad este fenómeno.

El color también es una propiedad relevante cuando la luz es absorbida por un material. Por ejemplo, si se hace incidir luz sobre una superficie metálica, los electrones toman energía de la luz incidente y la utilizan para escapar del metal. A esto se le llama *efecto fotoeléctrico*. La cantidad de electrones emitidos depende de la intensidad de la luz. Sin embargo, si se mide la energía transferida por la luz a cada electrón en lo individual, se encuentra que ésta depende del color de la luz. De los colores del arcoiris, el que puede transferir más energía es el violeta, mientras que el rojo es el que puede transferir menos.

## La luz se difracta

Cuando un haz de luz se topa con un obstáculo, se divide en varios haces que se propagan en diferentes direcciones, en lo que se conoce como *difracción*. Para obstáculos grandes, los haces difractados son tan poco intensos que no pueden percibirse, por lo que la luz aparenta viajar en línea recta. En este caso, el encuentro con un obstáculo causa que la luz proyecte sobre una pantalla la *sombra* de éste, como puede verse en la figura 7a. En este ejemplo, la sombra de una abertura cuadrada no es más que un cuadrado iluminado contra un fondo negro. La formación de sombras resulta familiar ya que es lo que sucede cuando la luz interacciona con los objetos cotidianos.

Sin embargo, si el obstáculo es lo suficientemente pequeño, los haces difractados tendrán la suficiente intensidad como para que su efecto sea observable. En este caso, el resultado no es una sombra sino un *patrón de difracción*, como puede verse en la figura 7b. Una consecuencia de la desviación de los rayos es que la región iluminada central es más grande de lo que le correspondería a la sombra geométrica del objeto. Otra consecuencia es que el encuentro entre rayos diferentes que coinciden sobre la pantalla, da lugar al patrón de regiones iluminadas y oscuras que rodean a la región iluminada central.

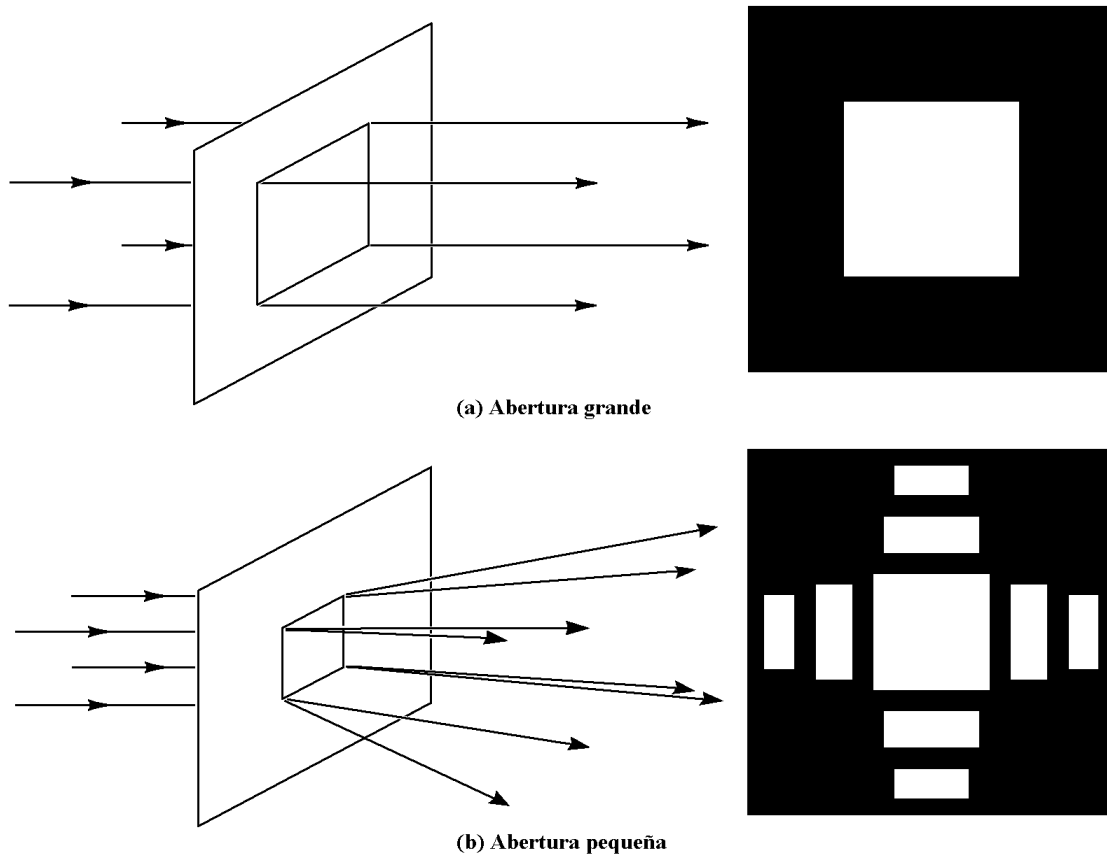


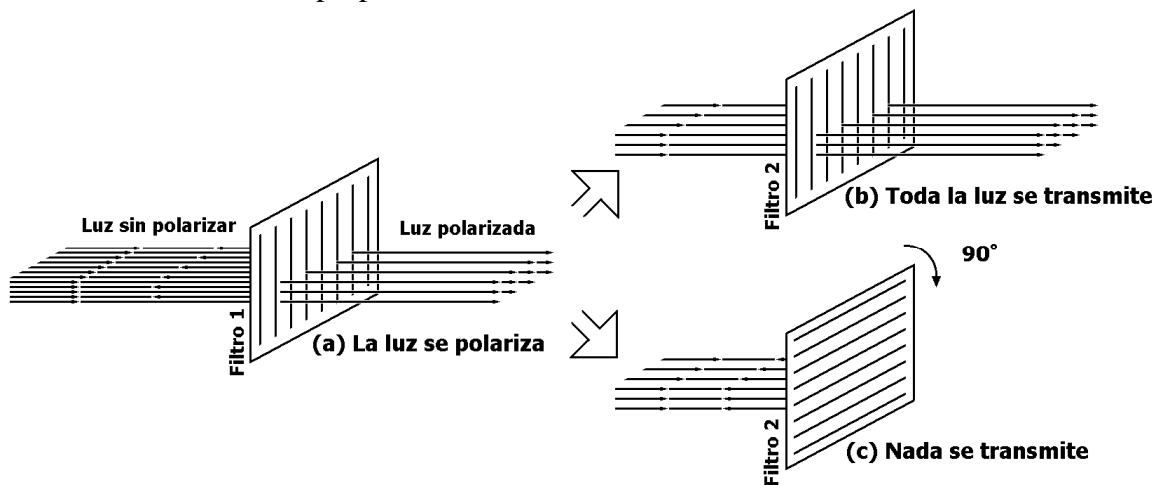
Figura 7: Difracción a través de una abertura cuadrada (a) Para aberturas grandes, la difracción es imperceptible y la luz aparenta viajar en línea recta (b) Para aberturas lo suficientemente pequeñas, la desviación de los rayos en todas direcciones produce un patrón de difracción, cuya región central se muestra en la figura.

Aunque no es tan sencillo observar la difracción como lo es observar la reflexión y la refracción, tampoco es imposible. Para conseguirlo puede utilizarse un mosquitero, esto es, una de esas

mallas de alambre cuadrado que se colocan en las ventanas para evitar que entren los mosquitos. Si se observan las estrellas a simple vista, se ven aproximadamente redondas. Sin embargo, si se observan a través de un mosquitero, parecen tener cuatro picos. Con un poco de atención puede advertirse que los picos están formados por manchas luminosas, alineadas en forma similar al patrón de difracción de la abertura cuadrada mostrado en la figura 7b.

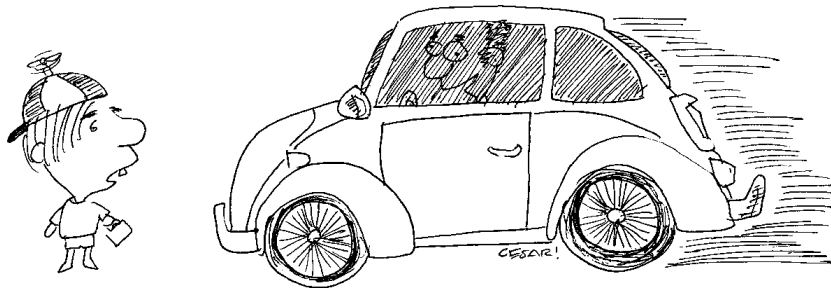
## La luz se polariza

En 1808 Luis Malus descubrió que la luz puede presentar orientación, en lo que se conoce como *polarización*. El efecto se consigue haciendo pasar luz como la del sol, a través de ciertos materiales a los que se les llama *filtros polarizadores*. El fenómeno de la polarización se esquematiza en la Figura 8. En (a) puede verse que no toda la luz que incide sobre el filtro 1 consigue atravesarlo. La luz que sí consigue atravesar se llama luz *polarizada*. Las propiedades de la luz polarizada se vuelven evidentes cuando se la hace incidir sobre el filtro 2, como en (b) y (c). En (b), el filtro 2 está orientado exactamente como el filtro 1. En este caso, la luz polarizada atraviesa el filtro sin problemas. En (c) el filtro 2 está girado noventa grados con respecto al filtro 1. En este caso, la luz polarizada no puede atravesar el filtro. Es como si el filtro 1 hubiera “marcado” la luz con su propia orientación.



**Figura 8:** La luz polarizada presenta orientación. El filtro 2 es transparente u opaco a la luz polarizada dependiendo de si tiene la misma orientación que el filtro 1 o si está girado noventa grados.

Las situaciones en que la luz se polariza son muy variadas y no se reducen al paso a través de un filtro polarizador. En particular, la luz esparcida por el pavimento de una carretera es en su mayoría luz polarizada. Esta luz que al conducir se percibe como un brillo, es particularmente molesta y hasta puede ser peligrosa. Para combatir este problema, existen los anteojos *polarizados*. Estos anteojos, inventados por la compañía Polaroid, están hechos de filtros polarizadores que no permiten el paso de la luz polarizada esparcida por la carretera. Sin embargo, la mayor parte de la luz no polarizada consigue pasar, por lo que se reduce el molesto brillo, sin disminuir en la misma medida la iluminación. Es importante no confundir los anteojos polarizados con los anteojos para el sol comunes. Los anteojos para el sol comunes no son sensibles a la polarización de la luz, por lo que atenúan toda la luz que reciben, sea o no polarizada. Por esa razón, aunque reducen el brillo de la carretera, también reducen en la misma medida la luz del sol y por tanto, la visibilidad del conductor.



**Figura 9:** Es cierto que los autos con vidrios demasiado oscuros pueden provocar problemas de tránsito. Lo que no es cierto es que estos vidrios están “polarizados”. El fenómeno de polarización no tiene nada que ver con las películas de control solar que reducen la transparencia de los vidrios de los automóviles.

Un error mucho más extendido ocurre cuando se habla de autos con “vidrios polarizados”. En realidad, las películas que se colocan sobre los vidrios del automóvil cuando se lleva a que lo “polaricen” no son filtros polarizadores, sino películas de control solar. El uso popular de la expresión “vidrio polarizado” como sinónimo de “vidrio oscurecido” es incorrecto y debemos evitarlo para no confundirnos al estudiar las propiedades de la luz. Desgraciadamente, la posibilidad de confusión es muy grande, ya que semejantes definiciones incorrectas han sido consagradas en muchos reglamentos de tránsito y documentos similares, a lo largo de todo el mundo de habla hispana.

### **¿Pero...qué es la luz?**

Hasta aquí hemos discutido distintas propiedades de la luz. La *intensidad* está relacionada con la energía transportada por la luz. Con la intensidad apropiada, la luz permite que funcione el *sentido de la vista*, formando una imagen en la retina que el cerebro interpreta. La luz puede *formar imágenes* en otros casos, como en la *cámara oscura* o en los fenómenos de *reflexión* y *refracción*. La luz tiene *color*, propiedad que es relevante para diversos fenómenos en que la materia emite o absorbe luz. La *difracción* de la luz ocurre cuando ésta se encuentra con un obstáculo y se divide en varios haces que se propagan en diferentes direcciones que proyectan sobre una pantalla un patrón de manchas luminosas y oscuras. La luz presenta *polarización*, lo que es equivalente a decir que tiene orientación. Sin embargo, no hemos siquiera intentado responder la pregunta ¿qué es la luz?

La razón de nuestra omisión es que esa aparentemente simple pregunta no es nada fácil de contestar. Desde hace más de dos mil años, los pensadores más agudos de cada generación han aventurado sus propias respuestas, las que conforme nos aproximamos a la época actual, resultan ser cada vez más completas e interesantes. La historia de estas respuestas es tan emocionante como larga. Por eso, esa historia deberá contarse en otra ocasión.

### **Bibliografía**

- Hecht, Eugene y Zajac Alfred. *Optica*. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington Delaware, 1986.
- Park, David. *The fire within the eye*. Princeton University Press. Princeton, 1997
- Zajonc, Arthur. *Catching the light*. Oxford University Press. Nueva York, 1993