**EDITA**

Fundación española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)

DIRECCIÓN

Marian del Egido

AUTORES

Natalia Díaz-Herrera, Eva Rodríguez-Schwendtner, Agustín González-Cano, Juan Carlos Martínez-Antón y Daniel Vázquez-Moliní (Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid)

COORDINACIÓN

Ana María Uruñuela

REVISIÓN DE TEXTOS

Emilio J. Bande

GESTIÓN

Ana Guillamón
Isabel Tarancón

ILUSTRACIÓN

Curro Oñate Wearbeard

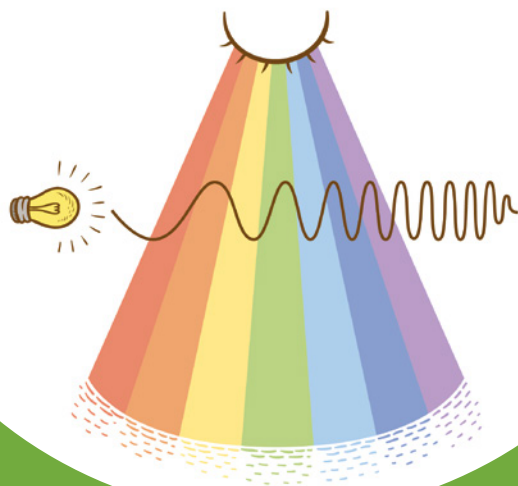
MAQUETACIÓN

Addicta Diseño Corporativo

Depósito legal: M-38101-2015






Nipo: 720-15-156-1

e-Nipo: 720-15-157-7



LUZ

El 20 de diciembre de 2013, la Asamblea General de las Naciones Unidas en su 68 sesión proclamó 2015 como el Año Internacional de la Luz y las Tecnologías Basadas en la Luz. En el texto de la proclamación se destacaba la importancia del conocimiento global de las tecnologías ópticas, que permiten un desarrollo sostenible y que inciden de una manera decisiva en la producción y el manejo de energía y en los avances sanitarios y educativos. La luz juega un papel esencial en nuestra vida cotidiana y su estudio, desde un prisma multidisciplinar, resulta fundamental dentro de la ciencia del siglo XXI. Las tecnologías ópticas han revolucionado la medicina y las comunicaciones y juegan un papel primordial en la economía, la cultura y la política de nuestra sociedad actual.

-  LUZ
-  COLOR
-  VISIÓN
-  IMAGEN
-  FOTÓNICA



luz

¿Qué es la luz?

Es una pregunta difícil de contestar, aunque la mayoría de la gente en realidad sabe lo que es, o al menos sabe lo que siente cuando hay o no hay luz.

La luz va asociada a la claridad, a la capacidad de discernimiento a través de la vista: cuando hay luz reconocemos los objetos, observamos sus detalles, nos conducimos con más facilidad por el mundo. Por eso la luz siempre ha venido rodeada de connotaciones culturales positivas, y desde muy al comienzo el ser humano ha ido desarrollando diferentes sistemas de iluminación para vencer a la oscuridad.

Esos sistemas, basados sobre todo al principio en el fuego, permitieron *alumbrar* los lugares cerrados e hicieron que la llegada de la noche no nos dejase tan indefensos, y esas fuentes de luz fueron haciéndose cada vez más ubicuas y eficientes, hasta llegar a la situación de hoy, donde, en las grandes ciudades, prácticamente no hay diferencia entre el día y la noche, gracias al auge de la tecnología. Claro que eso también genera otros problemas, como la llamada *contaminación lumínica*, que nos impide una observación de las estrellas, las luminarias que en la antigüedad presidían la noche.

Por lo tanto, antes que nada, la luz es una forma de energía que permite ver, una manifestación de procesos físicos que se traducen en la generación de una sensación visual. Es a partir de ese dato fisiológico primario como se va suscitando, a lo largo de los siglos, la inquietud de conocer algo más profundamente en qué consiste ese fenómeno físico, y de ese modo se van sucediendo los *modelos* que tratan de describir la luz.

Después de no pocos avatares y tras analizar los muy diversos comportamientos y manifestaciones de la luz, desde el siglo XIX aceptamos que lo que provoca en nosotros la sensación visual es una forma de radiación electromagnética, es decir, campos eléctricos y magnéticos propagándose por el espacio y el tiempo en forma de ondas, siendo sólo sensibles nuestros ojos a un rango muy particular de longitudes de onda de esas radiaciones, el llamado *espectro visible*.

Otras regiones de ese espectro se fueron descubriendo paulatinamente y reciben nombres que nos serán familiares: *ondas de radio*, *microondas*, *infrarrojo*, *ultravioleta*, *rayos X*, *rayos γ* . El fenómeno subyacente es el mismo pero la longitud de onda, y con ella la energía que transportan esas radiaciones, hace que sus manifestaciones sean diferentes.

Así, es la radiación electromagnética de longitudes de onda comprendidas entre unos 380 y unos 760 nm la que podemos ver, siendo muy diferente nuestra sensibilidad incluso dentro de esa región, alcanzando ésta un máximo para 555 nm (verde-amarillo) y cayendo mucho hacia los extremos (violetas o rojos).

La luz que te rodea [Actividad]

Intenta identificar las fuentes de luz naturales o artificiales que te rodean. No todas las lámparas son iguales, ni en el modo en que producen la luz ni en la *calidad* de la luz que emiten (su color, su intensidad, la sensación que nos produce...). Haz una pequeña lista de todas las fuentes de luz que puedes reconocer en tus proximidades y trata de *caracterizarlas* cualitativamente.

¿Sabías que...?

[Actividad]

Muchos aparatos de los que te rodean en la vida cotidiana emplean radiaciones no visibles para comunicarse con otros aparatos. Por ejemplo el mando a distancia de la tele usa radiación infrarroja para mandar el mensaje al televisor de, digamos, cambiar el canal. De hecho, como es una radiación muy próxima al final del espectro visible, en algunos casos podemos, con la cámara del móvil hacer una foto del destello que sale del emisor de ese mando. El detector de esa cámara ve un poco el infrarrojo.



El móvil, por su lado, manda y recibe información en la banda de las radiofrecuencias, longitudes de onda mucho más largas, que se utilizan para la transmisión atmosférica de radio y televisión.

Seguramente nos habrán hecho alguna vez una radiografía. En este caso la radiación corresponde a los llamados rayos X, en el otro lado del espectro, mucho más energéticos y mucho más peligrosos por tanto, razón por la cual se precisan de protecciones y protocolos mucho más exigentes de manejo.

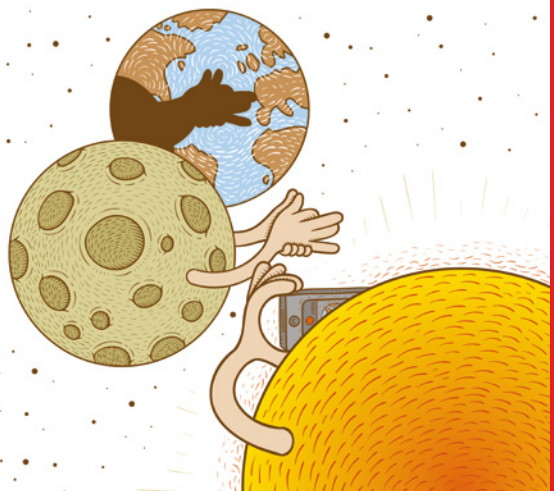
Luz y sombra: los eclipses

Si nos preguntan sobre cómo se propaga la luz casi seguro que contestaremos "en línea recta". Si bien habría que matizar esa afirmación, es cierto que para muchos fenómenos nos puede servir esa imagen de la luz que avanza en todas direcciones en forma de rayos. Ese modelo está en la base de la llamada Óptica Geométrica, que no sirve para explicar comportamientos ondulatorios de la luz (recuerda que acabamos de decir que la luz es una onda electromagnética) pero es suficiente para describir muchas de las cosas que comentamos aquí, al menos a un nivel aproximado.

La rectilinealidad de la propagación de la luz se pone claramente de manifiesto cuando interponemos un obstáculo en su camino, produciendo una *sombra*. Si tenemos una fuente de luz y ponemos nuestra mano delante sobre una superficie posterior aparecerá la figura de nuestra mano en negro sobre el fondo iluminado. Si cambiamos la postura de las manos para imitar objetos o animales tendremos las *sombras chinescas* a las que seguramente habremos jugado (¿no te apetece jugar ahora un ratito a hacer sombras curiosas? Inténtalo). Cuando la fuente de luz no es un foco puntual, entre la zona iluminada y la oscura aparece una zona de *penumbra*.

No muy diferente a esto es lo que ocurre en un eclipse. En este caso la luz que llega a la Tierra procedente del Sol o de la Luna se ve obstaculizada en su marcha por la interposición de otro astro en ese camino (la Luna en el primer caso, la propia Tierra en el segundo). Como los astros no se mueven en el mismo plano esto no ocurre más que en contadas ocasiones, que se pueden prever y que nos permiten observaciones muy interesantes. No hace muchos años pudimos contemplar un precioso eclipse anular de sol en España.

Eso sí, mucho cuidado con cualquier observación de ese tipo: mirar directamente al Sol sin la protección adecuada, esté eclipsado o no, puede producirnos lesiones importantes y hasta la ceguera.

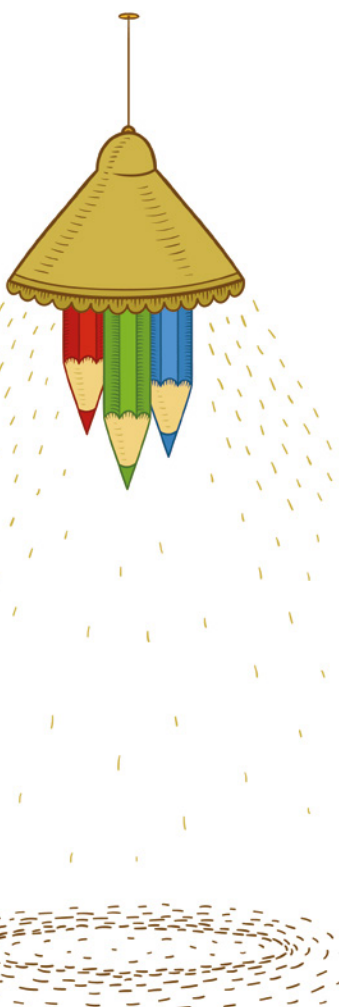




color

¿Y en cuanto al color?

Pues nos pasa un poco como con la luz, por un lado casi todos nosotros tenemos una idea intuitiva de él y lo experimentamos en nuestra vida cotidiana, pero también es difícil de definir. Hay cosas que son rojas o verdes o amarillas y el tiempo en que aprendimos lo que significaban esos nombres y a qué objetos asociarlos es tan lejano, está metido tan profundamente en la infancia, que nos es imposible explicar qué significa que una cosa sea azul o de qué modo las cosas azules son diferentes de las rojas. Además, nuestra cultura está codificada en colores: son fundamentales para la señalización, nos producen emociones de muy diverso tipo y por ello son decisivos en la moda o la publicidad, hacen que nos sintamos más a gusto o a disgusto en un sitio... Tenemos colores favoritos y si se nos pregunta por qué, de nuevo tendremos que responder que... no lo sabemos.



Pero todo lo anterior no implica que no podamos, al igual que hicimos con la luz, abordar la cuestión del color científicamente. Es sabido que, a caballo entre los siglos XVII y XVIII Isaac Newton realizó una serie de experimentos decisivos que demostraron el carácter compuesto de la luz blanca, que se ponía de manifiesto al hacer atravesar ésta por un prisma, suscitándose entonces el fenómeno conocido como *dispersión cromática*: cada color se refractaba con un ángulo diferente y por ello podíamos observar físicamente el espectro visible.

Pero hay que tener cuidado. Si bien es cierto que la radiación visible de una longitud de onda dada (*monocromática*) nos producirá una sensación de color determinada, siempre la misma (azules y violetas las más cortas, rojas las más largas), casi ninguna de nuestras sensaciones cromáticas procede de fuentes que emitan en una única longitud de onda, sino en un espectro amplio en el que hay una *mezcla* de radiaciones monocromáticas. En última instancia, los responsables de nuestra visión cromática son las células fotosensibles de la retina y es a partir de la combinación de las respuestas de éstas (las hay de tres tipos, unas que responden a la zona de los rojos, otra a la de los verdes y otra a la de las azules) como percibimos el color.

Es así, *grosso modo*, como se justifica el que a partir de un número pequeño de colores primarios se pueda generar una gran variedad de colores. Ahora bien, en este caso es preciso matizar que no es lo mismo una *mezcla aditiva*,

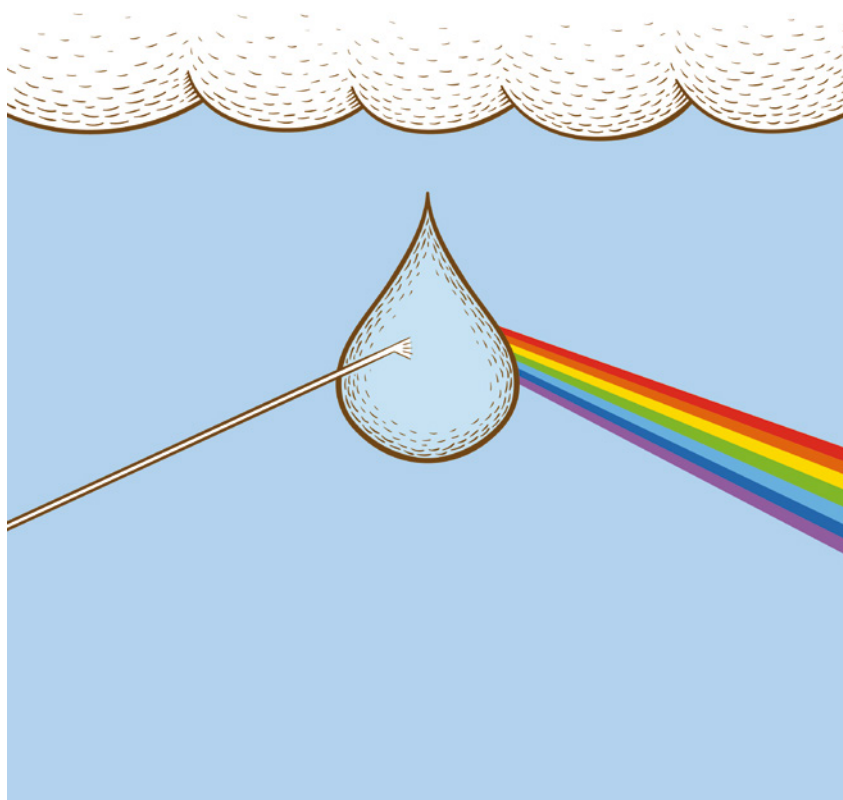
de fuentes de luz, para la que los primarios son rojo-verde-azul (por ejemplo, en la pantalla de un ordenador) que una *mezcla sustractiva*, de pigmentos o pinturas, para la que los primarios son el cian, el magenta y el amarillo. Estos tres primarios sustractivos (que, sumados, dan negro) son los complementarios de los primarios aditivos (que, sumados, dan blanco).

El color de las cosas [Actividad]

Cuando decimos que algo es de éste u otro color hay que tener en cuenta que nuestra percepción dependerá, en última instancia de la luz que, procedente de ese objeto, llegue a nuestro ojo. Como la mayor parte de las veces el objeto no será luminoso por sí mismo, lo que nos llegará es lo que refleje de la luz que incida en él proveniente de las fuentes de luz en el entorno (el sol, las lámparas, etc.). Sólo, como es lógico, podrá reflejar una cierta longitud de onda si incide sobre él. Esto hace que, por más que el objeto se defina por un color determinado, pueda presentar apariencias muy distintas al ser iluminado de diferentes maneras.

Por ejemplo, si iluminamos con rojo un objeto verde no podremos bajo ningún concepto verlo verde: lo veremos oscuro, no reflejará luz, la sensación será que es negro o marrón. Sin ir tan lejos, el espectro de emisión (y con él, su color *blanco*) de una lámpara de incandescencia no es el mismo que el del Sol o el de un tubo fluorescente, lo cual puede hacer que la percepción de color cambie mucho.

Intenta comprobarlo en tu vida cotidiana. Es algo que se ve muy bien en las prendas de ropa. También intenta distinguir entre las iluminaciones de diversas tiendas, que tienden a resaltar unos u otros colores.



El arco iris [Actividad]

De entre los muchos y muy interesantes fenómenos relacionados con la luz que tienen lugar al aire libre o en la naturaleza, con seguridad el arco iris puede ser el más conocido y uno de los más espectaculares. El efecto que lo produce es la dispersión cromática a la que nos hemos referido antes al hablar de Newton y el prisma. El elemento refractor son las gotitas de agua de lluvia, donde la luz procedente del sol se refracta dos veces y se refleja una (podemos pensar en esas gotitas como pequeñas esferas transparentes). Los colores del espectro visible se disponen entonces según la desviación mayor o menor que la luz haya sufrido, en el orden conocido, con el azul a un extremo y el rojo en otro.

Las condiciones para ver un arco iris no son críticas, pero los veremos tanto mejor cuando haya mucha luz y una atmósfera limpia justo después de haber llovido y en esos casos, más difícilmente, podríamos llegar a ver un arco iris suplementario, más tenue, sobre el principal. ¿Sabrías decir cómo se produce ese segundo arco iris y en qué orden están sus colores? Intenta "producir" tu arco iris con un spray de agua o búscalo en las fuentes de tu ciudad.



luz

visión

Pero hemos hablado de sensaciones, respuestas de nuestro cuerpo ante estímulos exteriores como la luz o el color.

¿Qué podemos decir de los órganos responsables de la visión?

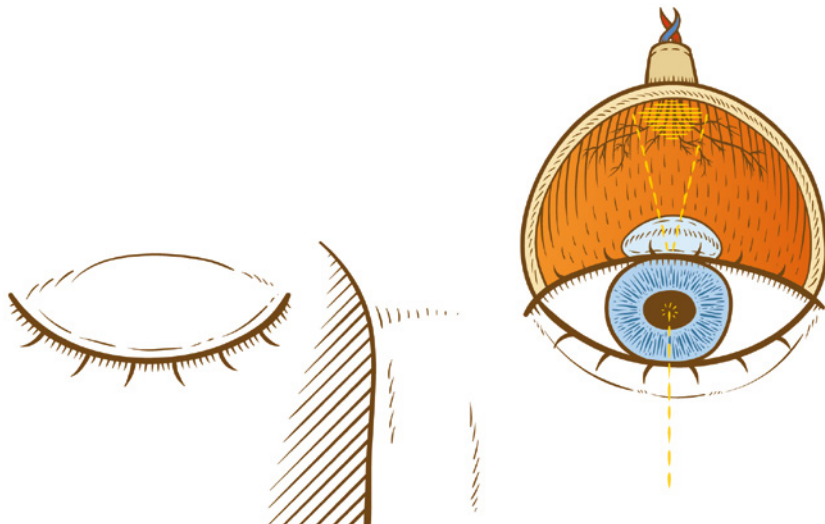
Bueno, a nadie le extrañará si decimos que son los ojos, pero probablemente no todo el mundo estará al tanto de cómo es un ojo y mucho menos aún de cómo funciona.

Centrándonos en el sistema visual humano, no será sorprendente indicar que un ojo funciona más o menos como una cámara de fotos... si bien es claro que en realidad es al revés, pues los ojos los tuvimos siempre y entonces inventamos una cámara que hacía más o menos lo del ojo. Pero, vaya, para entendernos nos basta. Lo que hace un ojo es formar una *imagen* del exterior en la *retina*, que es la parte sensible a la luz, donde se encuentran las células que antes mencionábamos como responsables de nuestra visión cromática (los *conos*, y otras, que trabajan en la visión nocturna, los *bastones*). La retina vendría a ser, antes, la película fotográfica y ahora el detector que tienen nuestras cámaras digitales (como la del móvil, sin ir más lejos).

De igual modo que en las cámaras, esa imagen es el resultado de un proceso óptico que tiene lugar a partir de la *refracción* de la luz (hay más información sobre este tema en la sección siguiente). En el ojo el principal componente de ese sistema óptico (la *lente*) es el cristalino. Cuando el cristalino deja de ser transparente, por ejemplo como resultado de la edad, tenemos una *catarata* y nuestra visión empeora mucho.

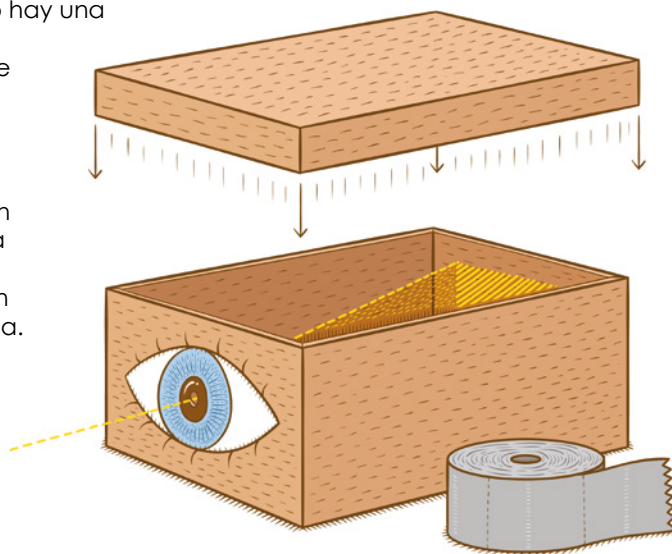
Además del cristalino tenemos los humores, *acuoso* y *vítreo*, y antes de todo la *córnea*, la parte exterior, tras la cual está el *iris* (el que nos da el color de los ojos) y en el centro de éste la *pupila*, el diafragma del ojo, que controla la cantidad de luz que entra en él cambiando su tamaño.

Si todo funciona correctamente, la imagen se forma nítida sobre la retina y las células envían a través del nervio óptico la información al cerebro y vemos correctamente esos objetos del exterior. Pero si esa imagen, que por cierto es invertida, no se forma adecuadamente, nuestra visión es borrosa. Así, si el ojo es demasiado potente forma la imagen antes de la retina y somos *miopes*. Si pasa lo contrario somos *hipermétropes*. Si el ojo no tiene simetría esférica tenemos *astigmatismo* y nos volvemos *presbitas* con la edad cuando vamos perdiendo la capacidad de ajuste del cristalino (la *acomodación*), que cambia su forma y con ello su potencia para poder enfocar objetos a distancias distintas.



La cámara oscura [Actividad]

Aunque parezca mentira, para formar imagen sólo hace falta... un agujero. Ésa es la base de la llamada *cámara oscura*: si interponemos en la marcha de la luz un pequeño orificio, se produce una selección de los rayos, de tal manera que, en una pantalla situada al otro lado hay una imagen invertida, pues esa selección de rayos hace que haya una correspondencia entre los puntos de esa pantalla y el objeto. Ahora bien, como la cantidad de luz que dejamos pasar es tan pequeña, para observar esa imagen necesitaremos una gran oscuridad en el lado en el que ponemos una pantalla. De hecho, "cámara" hace referencia a "habitación" y un modo de construir una cámara oscura es simplemente cerrando a cal y canto una habitación y dejando que entre luz sólo procedente de un pequeño agujerito en una pared. En la otra pared observaremos la imagen de lo que haya fuera, invertida.



Podemos construir una cámara oscura con una caja o a partir de una cartulina (negra para que pase la menor luz posible dentro) que hemos plegado para generar un prisma rectangular. Bastará practicar un orificio en una de las caras y observar por la otra. Para que podamos ver bien la imagen necesitaremos una pantalla traslúcida (papel vegetal) que introduciremos dentro de la caja. Hay que tener en cuenta que no podemos ver cosas muy cercanas, así que hemos de calcular las distancias para que la pantalla esté a una distancia del ojo suficiente.

¡Intenta construir tu cámara oscura en casa! ¿Sabes que con ella podrías llegar hasta hacer fotos si pones una película en el plano de la imagen? No es tan fácil, porque llegará muy poquita luz y tendrás que exponer la película mucho rato y durante ese tiempo no mover la cámara, y cuidar que no haya rendijas por las que se cuele la luz y vele la película, y algunas otras cosas... pero se puede.

Con una cámara oscura puedes también proyectar objetos luminosos, por ejemplo el Sol durante un eclipse (acuérdate que hemos dicho que la observación directa del Sol es peligrosa). De hecho, los pequeños huecos que se forman entre las hojitas de los árboles son cámaras oscuras naturales y si miras lo que se ve cuando hay un eclipse a través de ellos... te sorprenderás.

Ah, y por cierto, esa "selección" de rayos en el agujero también puede "sentirse" si nos ponemos el orificio directamente delante del ojo y miramos por él. Puedes construirte unas "gafas de agujero" y ver qué tal verías por ellas. Pensarás que peor pero... a lo mejor no.

¿Conoces tus gafas? [Actividad]

Muchos llevamos gafas, esto es así. A veces las lleva uno desde pequeño, porque es miope, otras veces a uno se las colocan en algún momento de su vida, y, desde luego, al final se hace presbita y entonces ya no hay remedio.

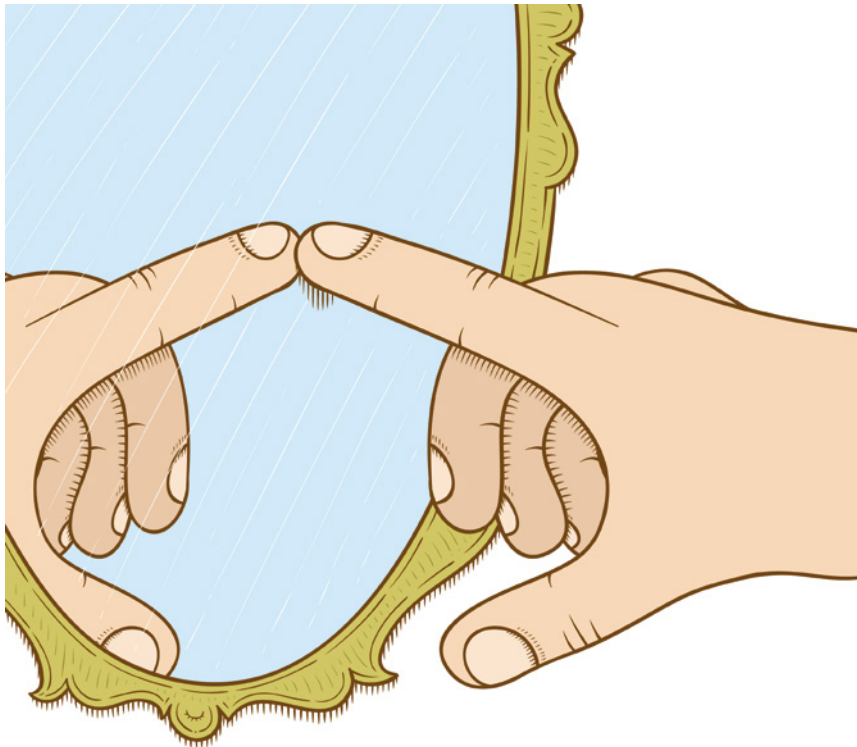
¿Llevas gafas? ¿Sabes qué problema tienes para llevarlas? ¿Conoces tu graduación? Si no llevas gafas, seguro que las llevan tus amigos o familiares. ¿Puedes distinguir una de otra? Son lentes, puedes intentar ver qué tipo de imagen forman, puedes fijarte en si los ojos, vistos a través de ellas, se hacen más grandes o más pequeños... A veces, quizás en el caso de tus padres, las gafas serán "progresivas". ¿Sabes lo que significa eso? Seguro que si le preguntas a alguien que las lleve puede explicártelo.

Luego tenemos además "gafas de sol", otras gafas que se usan en contextos determinados (de protección, para esquiar, etc.). Investiga un poco a ver qué puedes aprender de tus gafas o de la gente de tu entorno. Son elementos muy importantes.

Ah, y luego cuando termines, pregunta por las lentes de contacto...

Al referirnos al ojo ya hemos hablado de ese proceso tan importante para nosotros de la formación de imágenes. En realidad hay imágenes por todas partes y no nos sorprende el hecho de que ciertos instrumentos tengan esa capacidad de generar réplicas de los objetos reales, que comparten con ellos su apariencia visual, pero no su materialidad.

De entre todos esos instrumentos, quizás el más sencillo y al mismo tiempo el más misterioso es el espejo plano, éste es el que nos miramos tantas veces para peinarnos, maquillarnos o afeitarnos. En este caso la imagen es el resultado de la reflexión de la luz, que vuelve hacia nuestros ojos después de haber rebotado en el espejo, generando una imagen llamada virtual, que situamos mentalmente dentro del espejo, porque nos parece que los rayos vendrían de un punto allí dentro correspondiente al punto externo del que partieron. Por eso vemos nuestro rostro, y lo vemos de frente, nos mira. Por eso, también, la simetría de la imagen es diferente a la nuestra (lo que resumimos diciendo, no de forma completamente correcta que el espejo *invierte*): se ha cambiado delante por detrás, dejando la izquierda y la derecha inalteradas, y, así, se ha alterado la lateralidad.



Otros espejos no planos pueden producir imágenes reales (como el espejo cóncavo, para ciertas distancias) y virtuales, derechas o invertidas, mayores o menores. El fenómeno siempre es la reflexión. Pero también formamos imágenes con refracción: las lentes son los sistemas más comunes para ello. Una lupa nos produce una imagen virtual y mayor, por eso nos ayuda a ver detalles demasiado pequeños, que se nos escapan. Esa misma lente de la lupa nos forma una imagen real e invertida si el objeto está más lejos. Con lentes así podemos, por ejemplo, compensar alguno de los problemas de la visión a los que nos hemos referido antes: así tenemos las gafas o las lentes de contacto.

Combinando lentes o espejos podemos conseguir efectos más espectaculares. Así, hemos ido construyendo telescopios que nos permiten ver objetos estelares lejanísimos y microscopios que nos muestran seres diminutos, ampliando de ese modo increíblemente nuestra fenomenología visual. En ambos casos el aumento obtenido con los sistemas permite observar cosas que serían invisibles sin esos instrumentos, dado que la resolución de nuestra visión es, como no puede ser de otro modo, limitada.

¿Conoces tus espejos? [Actividad]

Incluso los instrumentos y objetos más cotidianos tienen un gran misterio y, desde luego, los espejos son de los más interesantes. Observando con algo de detenimiento y preguntándonos qué vemos realmente en ellos y por qué vemos así aprendemos a comportarnos como un científico, que tendrá luego que desechar explicaciones incorrectas y tratar, por medio de nuevas observaciones o experimentos, de mejorar esas explicaciones.

Aunque estés acostumbrado a mirarte en espejos ¿los conoces realmente? Si es así, seguro que podrás contestar estas preguntas... y sorprenderte de lo poquísimo que los conoces en realidad y de cómo nos *engaña* el espejo.

- Te estás mirando en un espejo plano (normal, el del baño, o, si quieres, uno de cuerpo entero, como el del armario de la habitación). Entonces se apaga por completo la luz de la habitación, te quedas a oscuras del todo. ¿Seguirá tu imagen en el espejo? (¿Seguro?)
- Ahora sí que nos miramos en el espejo del baño, que suele ser más pequeño, y no nos muestra enteros, ¿nos podremos ver completos si nos alejamos del espejo? (¿Seguro? Compruébalo.)
- Lo de la inversión y la lateralidad de los espejos es un lío, de acuerdo (ya lo hemos discutido en la página de al lado), pero, vaya, lo que queda claro es que si yo tengo un letrero en la camiseta (digamos, la marca: *Camiseta*), en el espejo aparece al revés. ¿Cómo aparece si estoy encima del espejo? ¿Cómo aparece si me miro de perfil? ¿Cómo aparece si me miro en un espejo doble, formado por dos espejos en ángulo recto?
- Si el espejo está *inclinado*, ¿nos vemos más altos o más bajos cuando nos miramos en él? (Esto pasa a veces en los probadores.)

Imágenes caseras [Actividad]

Aunque la palabra *imagen* sirve para designar muchas cosas, circunscribiéndonos sólo a las imágenes producidas por refracción, hay más de las que parece en nuestro entorno próximo y podemos *jugar* un poco con ellas. Por ejemplo, un vaso lleno de agua nos sirve, mirando a través de él, como una lente cilíndrica. Comprueba qué imágenes produce. Por cierto, fíjate en las extrañas figuras luminosas que a veces aparecen en el mantel cuando uno está comiendo y tiene un vaso de agua sobre el que incide la luz de la calle o una lámpara.

Una canica o una simple gota de agua son también lentes. ¿Aumentan o disminuyen la imagen? Fíjate en tu móvil: la cámara tiene, claro, su lente: compárala con otras lentes en cámaras de foto mayores o en otros instrumentos ópticos, como los prismáticos.

Busca otras lentes y trata de describir sus efectos. Puedes jugar también con tus gafas u otros objetos.



imagen | tecnología óptica

Los grandes telescopios

Que el universo es muy grande ya lo sabemos, y que cada vez vemos objetos estelares más lejanos ya lo tenemos casi normalizado. Pero, si uno lo piensa, es increíble cómo, a partir de un "invento" que tiene poco más de cuatrocientos años hayamos ampliado tantísimo el ámbito de las cosas que podemos conocer.

¿Cuál es el problema? Bueno, una estrella puede ser muy grande, pero si está muy lejos, su tamaño angular es muy pequeño y queda por debajo del límite de resolución, no ya del ojo humano (y entonces no podemos verlo a simple vista) sino de los telescopios más sencillos. Por eso se fueron construyendo instrumentos más y más grandes y más poderosos.

Los telescopios más grandes son de *reflexión*: en vez de tener una lente como objetivo tienen un espejo parabólico primario usado en combinación con un espejo secundario que puede tener diversas geometrías (en el llamado *telescopio de Newton* es un espejo plano). Luego tendremos un ocular formado por lentes. Cuando va creciendo el espejo (el observatorio del Monte Wilson ya tenía en 1917 un telescopio de 2.5 m de diámetro) su peso aumenta y es cada vez más difícil mantener su forma y su correcto emplazamiento en la montura. Por eso se han ido sustituyendo los espejos monolíticos por sistemas de óptica adaptativa o activa, en la que muchos espejos más pequeños son colocados uno junto a otro y orientados adecuadamente cada uno por separado para obtener la forma global requerida. El Gran Telescopio Canarias puede así tener un espejo de 10.4 m de diámetro.

Además, hay que tener en cuenta que, para observar objetos muy lejanos es preciso trabajar en regiones del espectro electromagnético fuera del visible (el infrarrojo o las ondas de radio: de ahí los radiotelescopios). La influencia de la atmósfera en la propagación de la radiación es muy importante, y por ello se han colocado telescopios en órbita, que la evitan. El *Hubble*, con un espejo primario de 2.4 m de diámetro, gira en torno a la tierra desde 1990, permitiendo observaciones del espacio profundo imposibles hasta su puesta en órbita.

Los píxeles [Actividad]

Al final, tanto el ojo como un detector de imagen están formados por una yuxtaposición de elementos de tamaño finito, lo que hace que la resolución, la capacidad de discernir detalles o de separar objetos, esté limitada por el tamaño de la celda básica en la que se recoge la luz. A eso es a lo que nos referimos, en los sistemas modernos de captación de imágenes con los *píxeles*. Cuanto más pequeña sea esa celdita o cajita donde llega la luz, más detalles podremos ver, puesto que de ningún modo podremos ver objetos cuya imagen tenga un tamaño por debajo de ese tamaño del elemento de imagen (*picture element, pixel*). Si pensamos que el tamaño total del detector es uno determinado será el número de píxeles el que nos dará, indirectamente el tamaño de cada celda: por eso nos venden cámaras con *megapíxeles* (*mega* = un millón) como algo que tiene un interés comercial. Pero ojo, para valorar la resolución no sólo tenemos que saber el número de píxeles, sino su tamaño. Cuanto más pequeños sean, como decimos, más detalles podremos ver cuando fotografiamos algo. Comprueba el número de píxeles que tienen tu cámara fotográfica, tu teléfono, tu televisión, etc. Mira a ver si eso influye luego en la calidad de las imágenes que obtienes.

Esto de la calidad no es tan obvio, en realidad: ahora que todo lo procesamos digitalmente, del tamaño y la cantidad de píxeles depende también el peso de la imagen cuando la guardamos en la memoria del ordenador o la transmitimos por Internet. Por eso usamos muchas veces formatos de imagen *comprimida*, como el jpeg. ¿No te has fijado que si amplías mucho una imagen empieza a verse peor? Aparece justamente el *pixelado*. Por mucho que uno la agrande, la imagen sólo nos podrá ofrecer la información visual que ya contiene.

Comprueba hasta dónde puede llegar la resolución de los diversos aparatos que usas para captar y almacenar imágenes. Y, de paso, no estaría de más que fueras capaz de determinar la resolución de tu propio ojo. Para eso bastará con que coloques un *test* (no sé, una letra, por ejemplo) y veas a qué distancia la puedes distinguir bien. ¿Te suena que te han hecho hacer algo así alguna vez? Seguro, retrocede a la página de las gafas y recuerda cómo "te graduaron".

Ilusiones ópticas [Actividad]

Una cosa que olvidamos a veces es que, por mucho que el ojo forme imágenes en la retina es, en última instancia el cerebro con el que vemos. Eso hace que en algunas ocasiones nos confundamos y manejemos esa información visual de un modo incorrecto, viendo las cosas "como no son". A veces eso está asociado a las llamadas *ilusiones ópticas*, que son muy interesantes para entender cómo trabaja nuestra mente. Por ejemplo, un objeto en sí no tiene por qué percibirse igual aislado que en un contexto. Cosas derechas nos pueden parecer torcidas si están rodeadas de formas que nos *sugieren* eso. Cosas más grandes pueden parecer más pequeñas: un mismo segmento nos parece mayor o menor según le pongamos en los extremos puntas de flecha apuntando hacia afuera o esas mismas puntas apuntando hacia adentro. Compruébalo.

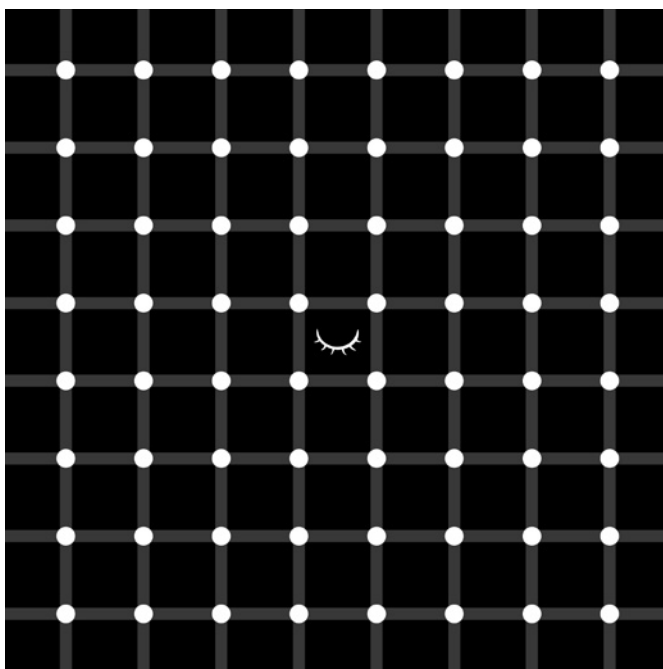
A veces se trata de ilusiones asociadas al movimiento. A partir de un momento dado no podremos distinguir una sucesión de blancos y negros que empieza a moverse deprisa y nuestro cerebro *integrará* esa información produciendo una zona uniforme de color gris. De ese estilo son los efectos *estroboscópicos* que pueden transmitirnos la sensación, por ejemplo de que los radios de una rueda que gira muy deprisa están detenidos.

El tamaño de la Luna [Actividad]

De las ilusiones ópticas más sorprendentes y también más controvertidas en lo que se refiere a su explicación, quizás la más conocida sea la del tamaño aparente de la Luna. ¿No nos hemos fijado nunca en que, cuanto más baja nos aparece la Luna, mayor la vemos y en cambio nos parece mucho más pequeña si está en el cenit? ¿No hemos visto que no siempre lo que *nos muestra* una foto de la Luna que hemos hecho con la cámara coincide realmente con lo que *nos había parecido* mientras la hacíamos? ¿Dónde radica ese misterio? (Por cierto, si nunca te has fijado, tienes oportunidad de hacerlo esta misma noche... si la noche es clara y la Luna es grande: las lunas llenas de verano son especialmente bonitas e interesantes.)

Bueno, es cierto que la distancia de la Tierra a la Luna varía y que podría haber algunos efectos relativos a la refracción de la luz en la atmósfera, pero la verdad, la sorprendente verdad, es que estamos ante un efecto enteramente *perceptual*, ante una ilusión. ¿Sabrías explicar cómo se produce?

Cuidado, no todo lo que le cuentan a uno en Internet es verdad. La cosa no es tan difícil: tiene que ver con que lo que percibimos son *tamaños angulares*, y para saber un tamaño tenemos que conocer la distancia y viceversa. A partir de ahí, como bien sabían los que trabajaban en el trucaje del cine hace muchos años, a uno le pueden presentar un objeto muy cercano que él interpretará como muy grande o viceversa. Por ahí va la explicación...





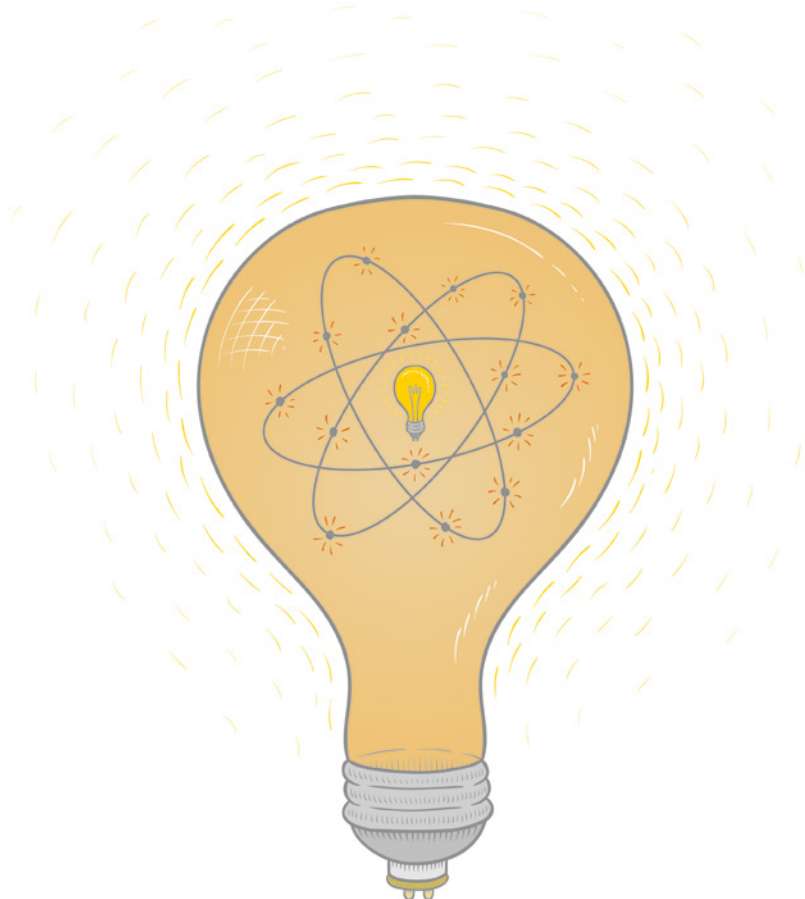
fotónica

Fotónica

En los últimos tiempos, y a consecuencia de los avances tecnológicos, se diría que de algún modo la Óptica ha sido *sucedida* por la Fotónica, término que hoy por hoy identifica a los dispositivos y técnicas que tienen que ver con el manejo de la luz de un modo avanzado, a partir de modelizaciones más complejas que las clásicas, que incorporan los efectos cuánticos.

Algo así ocurrió con el estudio tradicional de la electricidad y la Electrónica, que gira en torno al *electrón*, partícula cuántica introducida para describir los efectos electromagnéticos a escala atómica. La profundización en nuestros conocimientos de Electrónica se ha traducido en innumerables aparatos y dispositivos que hoy nos rodean en todos los ámbitos (y muy especialmente en nuestra vida cotidiana) y podemos decir que han cambiado por completo nuestra forma de interactuar entre nosotros y con el mundo que nos rodea. El auge de la Electrónica tiene lugar en la segunda mitad del siglo XX y durante esos años la influencia en el manejo de la luz de las nuevas técnicas fue muy grande: nuevas fuentes de luz, detectores, *displays*, técnicas de procesado de la señal, etc., permitieron el nacimiento de la Optoelectrónica.

Un paso más lo constituye la Fotónica. En este caso los fenómenos estudiados requieren emplear para la luz el modelo de *fotón*, partícula cuántica que reúne comportamientos corpusculares y ondulatorios y sin la cual no podríamos describir apropiadamente el funcionamiento de dispositivos tan comunes hoy en día como el láser o el LED. Al ir disminuyendo la escala de nuestras observaciones y nuestros aparatos vamos encontrando terrenos nuevos con posibilidades tecnológicas cada vez más radicales. Así, lo *nano* (con ese prefijo designamos la milmillonésima parte de una unidad, 10^{-9}) va substituyendo a lo *micro* (10^{-6}) y existen además en la actualidad dispositivos que incorporan lo *bio*, empleando organismos vivos para, por ejemplo, el desarrollo de sensores de muy pequeño tamaño, gran precisión e incalculables posibilidades de aplicación.



El láser [Actividad]

Hay muchas formas de producir luz, ya lo hemos dicho: los mecanismos físicos responsables de esa emisión en las diversas fuentes de luz que manejamos son variados. Una lámpara de incandescencia la produce a partir de un filamento metálico calentado a una temperatura muy alta: la emisión es térmica (todas las cosas calientes emiten radiación). En el corazón de un tubo fluorescente hay una descarga eléctrica en un gas. Los LEDs, que hoy en día son ubicuos, por sus buenas prestaciones, su bajo coste y su larga vida, son dispositivos electrónicos en los que los mecanismos de producción de luz son efectos que sólo podemos describir adecuadamente dentro de la mecánica cuántica.

Algo parecido pasa con la fuente de luz más *popular* hoy en día: *el láser*. Para entender de verdad cómo funciona tenemos que ir más lejos (o más *adentro*) en la explicación de la emisión de radiación, hasta el mismo corazón de los átomos. En última instancia, son las transiciones de los electrones en sus órbitas las responsables de esas emisiones. *Preparando* un material de cierta manera podemos tener la llamada *inversión de población* y por un mecanismo, postulado por primera vez por Einstein llamado *emisión estimulada* (eso está en el nombre del LASER, que es un acrónimo: *amplificación de luz por emisión estimulada de radiación*) se consigue un haz de propiedades muy peculiares. Tenemos láseres en el visible operativos desde 1960 (el láser de rubí de Maiman) y desde entonces se han convertido en dispositivos ubicuos y con muchísimas aplicaciones.

De hecho, aunque uno se deje llevar por las películas y piense en aparatos inmensos y destructivos, hay láseres muy pequeños alrededor nuestro sin que quizás nos hayamos percatado de su existencia. No sólo en los punteros (cuidado con los punteros láser: es muy peligroso que el haz láser entre directamente en el ojo, puede producir lesiones importantes). Un CD o un DVD usan láseres. También un Blue-ray (por cierto, ¿por qué lo de *blue*?). Son láseres de estado sólido, no muy diferentes de los LEDs. Es muy interesante entender cómo se las apaña un DVD para que podamos ver una película de cine gracias a él. Es un dispositivo completamente óptico. Bueno, si somos justos, optoelectrónico. ¿Tienes alguna idea de cómo funciona?

Hay otro montón de cosas que llevan el apellido *láser*, desde la depilación a la cirugía... La luz *especial* del láser nos rodea, aunque a veces sea invisible (porque, por ejemplo, la emisión sea en infrarrojo). Búscala. Ah, y recuerda: no la mires directamente.

Y además... [Actividad]

Las comunicaciones ahora son ópticas: seguro que sabes que puedes *bajarte* más información y más deprisa de la red si tienes fibra óptica.

Muchos dispositivos de medida que se utilizan en los aparatos o en máquinas son sensores ópticos, que miden propiedades de la luz y de ahí deducen el valor de parámetros físicos y químicos.

Cada vez se utilizan más dispositivos ópticos en el diagnóstico médico (gastroscopia, escáner, etc.) y en la seguridad (escáneres en los aeropuertos, cámaras de satélite, etc.).

