

1. Introducción

“¡Luz, más luz!” fue, parece ser, la última exclamación de Goethe en su lecho de muerte. La luz siempre le había fascinado, hasta tal extremo que, convencido de que la teoría de los colores de Newton era errónea (luz blanca compuesta de colores), dedicó bastantes esfuerzos durante su vida para idear una teoría diferente. El tiempo acabó demostrando que Goethe estaba equivocado y que Newton tenía razón, al menos en parte...

Valga el ejemplo de Goethe para ilustrar cómo el fenómeno de la luz ha sido objeto de fascinación para los más grandes pensadores. La fenomenología y el potencial tecnológico de la luz han estado presentes en toda la rica historia de la ciencia y de la técnica y no cabe duda de que desempeñará un papel cada vez mayor en nuestras vidas.

¿Qué es la luz? Es una de las grandes preguntas que se ha hecho la ciencia desde sus inicios. El capítulo 2 de este libro hace un repaso histórico de cómo distintas teorías científicas han tratado de responder a esta escurridiza cuestión. Ya desde el siglo XVII se planteó una crucial disyuntiva: ¿la luz es partícula u onda? Si bien inicialmente la noción corpuscular pareció imponerse, gracias sobre todo a la autoridad de Newton, fenómenos ópticos como la difracción o la interferencia óptica hicieron que en el siglo XIX el modelo ondulatorio acabase desplazando al corpuscular. El clímax de esta evolución ocurrió hace 150 años (1865) cuando Maxwell acabó deduciendo que la luz no era otra cosa sino un campo electromagnético. Esto condujo a la ilusa idea de pensar que por fin se tenía una comprensión completa de la esencia de la luz.

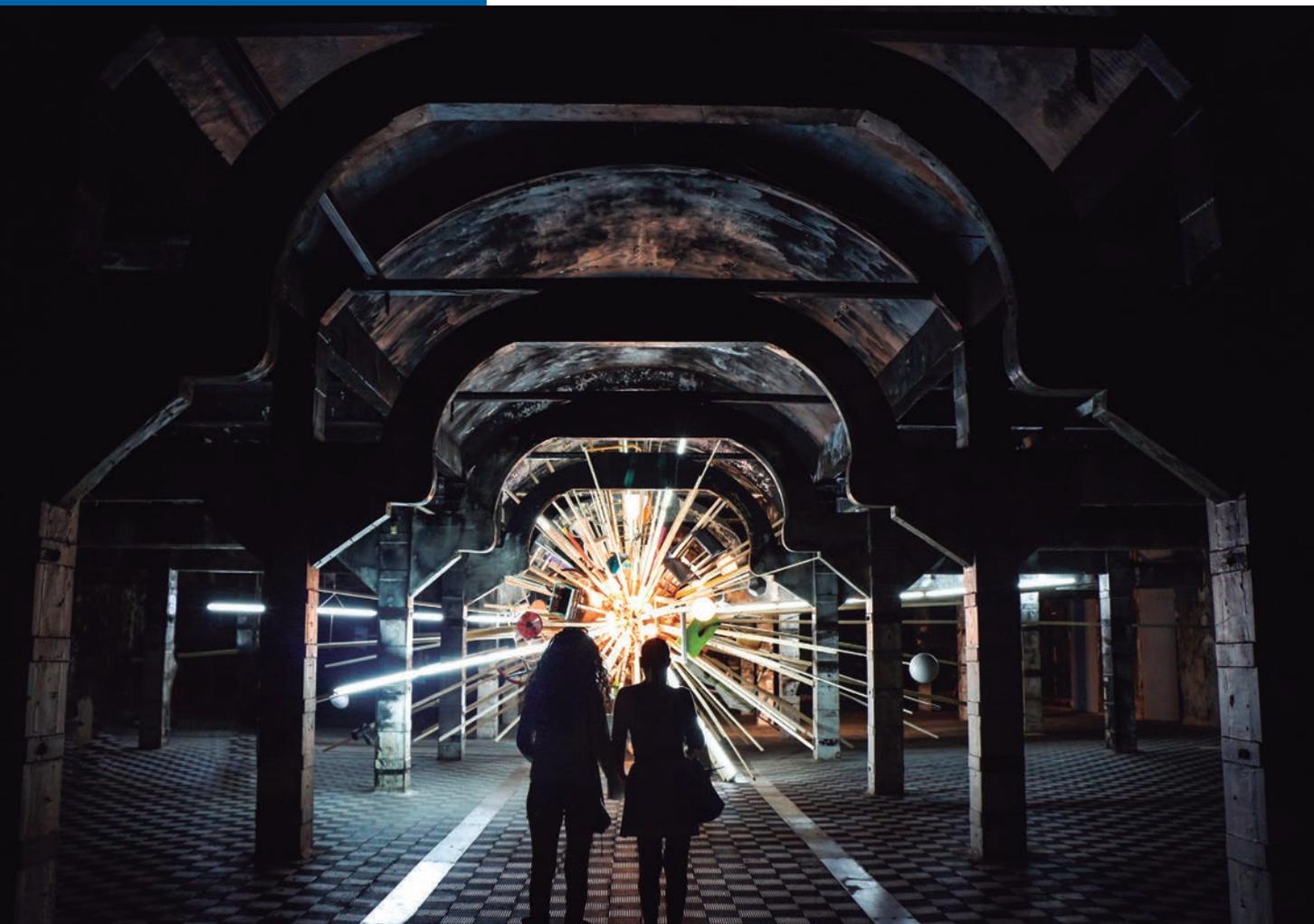


Figura 1.2. *La soledad del agujero negro.*
Escultura del artista Björn Dahlem en
Matadero de Madrid.
Fotografía: Daniel Cortés.

Sin embargo, dos revoluciones científicas desmoronaron, a principios del siglo XX, este frágil castillo de conocimientos: la teoría de la relatividad especial de Einstein y,

sobre todo, la teoría cuántica. La luz pasaba a estar compuesta de pequeños entes discretos, llamados fotones, que se propagaban como una onda electromagnética. Esta aparente

paradoja de la naturaleza dual de la luz quedaría solventada por De Broglie utilizando el principio de complementariedad, que tan fructífero fue en la nueva física y cuya propuesta como principio general se debe agradecer al físico-filósofo Niels Bohr. Hoy en día, la naturaleza cuántica de la luz es la que más preguntas suscita en cuanto a la determinación de la esencia íntima de la luz, algo que se analizará en el capítulo 2.

La luz es el único hilo de comunicación que nos une al resto del universo más allá del sistema solar, con lo que, como se verá en el capítulo 3, hablar del universo es en cierta manera hablar de la luz. A pesar de que no hay nada que vaya más rápido que la luz, según el principio relativista postulado por Einstein, la distancia entre estrellas es tan inmensa que la luz recogida por los telescopios nos da no solo información de dónde se encuentran estas, sino también de sucesos que ocurrieron hace mucho tiempo. Por lo que ver la luz que nos llega del universo significa acercarnos a su propio origen.

En la Tierra, la luz es fundamental, ya que sin luz no habría vida, pero es que, además, esta ha determinado de manera decisiva cómo los distintos organismos vivos han ido evolucionando. De ello aprenderemos en el capítulo 4. Se verá cómo los primeros seres vivos unicelulares, que habitaban en medios acuosos, fueron

capaces de una innovación crucial: la utilización de la energía de la luz para sintetizar el alimento necesario para crecer y multiplicarse. Desde entonces, los organismos vivos evolucionaron en diversas formas posibles, llegando incluso a la paradoja de que algunos de ellos, que surgieron gracias a la luz, han acabado por recolonizar los lugares donde no llega la luz: las llamadas zonas afóticas, como los fondos marinos.

Dentro de la evolución de los seres vivos, el desarrollo diferencial de los órganos sensoriales, especialmente los ojos, es un claro distintivo. Nuestra principal fuente sensorial de lo que nos rodea es la visión, que funciona gracias a la captura de luz. Ya lo decía Platón en su diálogo *Timeo*: “A mi juicio, la vista es la mayor utilidad que tenemos, porque ninguno de los discursos que hemos pronunciado sobre el universo jamás se hubiese dicho si no hubiésemos visto los astros, el sol y el cielo. [...] Así pues, afirmo que este es el bien más grande: los ojos”.

El capítulo 5 nos introducirá en el sistema visual, y en particular en el del ser humano. La visión es un fenómeno complejo que involucra varias etapas: una primera óptica en la que se forman imágenes en la retina, la conversión de la señal luminosa en eléctrica, el procesado de esta señal en las distintas partes del cerebro y, por último, su interpretación como imágenes sensoriales. Con todo,

y a pesar de las capacidades asombrosas del ojo humano, este tiene unas claras limitaciones: defectos que necesitan de elementos de corrección.

La materia inanimada también interacciona con la luz. La materia está compuesta por átomos, los cuales se agrupan en moléculas mediante enlaces químicos, siendo estas, más que los átomos, las que configuran la estructura macroscópica de la materia. Queda, pues, patente la importancia de analizar la estructura de las moléculas. Para este propósito la luz nos sirve de gran ayuda. Si hacemos interaccionar luz (especialmente en la región infrarroja) con las moléculas, estas empiezan a vibrar, de manera que sus vibraciones es el lenguaje que tienen para explicarnos su estructura. La rama de la ciencia que estudia esta interacción de la luz con las moléculas se denomina espectroscopía y sus fundamentos se explicarán en el capítulo 6.

Una de las aplicaciones de las técnicas espectroscópicas es el estudio de la atmósfera. La atmósfera es uno de los factores imprescindibles para hacer posible la vida en la Tierra. Está compuesta de una mezcla de gases, tales como el nitrógeno y oxígeno, y una serie de partículas sólidas o líquidas en suspensión, entre las que se encuentran los aerosoles responsables de la contaminación del aire. La interacción de la luz con la atmósfera genera interesantes fenómenos, lo cual



Figura 1.3. Aurora boreal en el Parque Nacional de Skaftafell, Islandia.

Fotografía: *Diario de Canarias*.

introducirá al lector (capítulo 7) en alguno de los procesos más importantes de la óptica: reflexión, absorción y refracción.

Los fenómenos ópticos atmosféricos, que se analizan en este capítulo, tales como el arcoíris, los halos o las auroras boreales, han fascinado y estimulado la mente humana desde el principio del pensamiento científico. Algunos son arquetipo del tránsito intelectual de la mitología al conocimiento científico; así, por ejemplo, el arcoíris pasó de ser Iris, la mensajera de los dioses en la *Iliada*, a convertirse en un fenómeno natural producido por —gracias al atrevimiento de Anaxímenes en el siglo VI a.C.—: “Rayos de sol atravesando una capa de aire densa”.

Si los fenómenos ópticos han sido sin duda algunos de los máximos alicientes del progreso científico, también se puede afirmar que la ciencia ha avanzado en la medida en que la tecnología ha permitido ensanchar el reducido ámbito de nuestros órganos sensoriales, y muy especialmente el de la visión. Dos claros ejemplos de esta evolución han sido el

avance de la astronomía, cuyo destino está intrínsecamente ligado al telescopio (capítulo 3) y el de la biología, que no hubiese podido llegar a donde está sin la invención del microscopio (capítulo 4). Se podría, pues, parafrasear a Platón y decir que no sabríamos lo que sabemos del universo si no hubiésemos visto más allá de nuestros sentidos con la imprescindible ayuda de las tecnologías basadas en la luz.

La luz no solo nos ayuda a desentrañar la estructura de la materia; también nos sirve para transformarla en nuestro propio beneficio. El espíritu audaz de Einstein le permitió, como en tantas ocasiones, ser el primero en entenderlo: descubrió que la luz era capaz de, mediante la absorción de fotones, generar en la materia movimientos de electrones (efecto fotoeléctrico). En este sentido, la invención del láser a mediados del siglo XX ha sido crucial, pudiendo considerarse, sin pecar de desmesura, como el avance tecnológico más importante de la óptica del último siglo.

De cómo usamos la luz para transformar la materia modificando sus propiedades tratará el capítulo 8. Esencialmente, la luz interacciona con la materia gracias al efecto que produce sobre los electrones. Estos ocupan determinados niveles energéticos, y al absorber o emitir luz cambian su estado energético. Precisamente aquí radica el potencial del láser, ya que permite

concentrar grandes cantidades de energía en áreas muy pequeñas, con lo que se amplifica la perturbación electrónica. El desarrollo de láseres pulsados que consiguen alcanzar potencias pico del orden de los petavatios (mil billones de vatios) permite transformar los materiales de una forma inimaginable hace unas pocas décadas.

Indudablemente, el dominio y control del fuego es uno de los puntos de inflexión en la evolución de los primeros homínidos, constituyendo un factor verdaderamente diferencial respecto del resto de especies animales. No de menor importancia fue el uso que se hizo del fuego como fuente de iluminación, al permitir alargar el tiempo de actividad humana más allá del anochecer. El capítulo 9 nos describe cómo el hombre ha utilizado distintas formas de iluminación, identificando diferentes etapas históricas en las que la humanidad ha pasado de intentar conseguir una llama constante a buscar formas de iluminación más eficientes, reduciendo el consumo de energía. Ello nos ha conducido al nacimiento de la tecnología LED, obtenida gracias a un fenómeno denominado electroluminiscencia, que se produce por la interacción de un campo eléctrico dentro de un diodo.

El fuego, además de iluminar, cumplía otras múltiples funciones: calentar, cocinar y, también, comunicar. Las señales luminosas producidas por

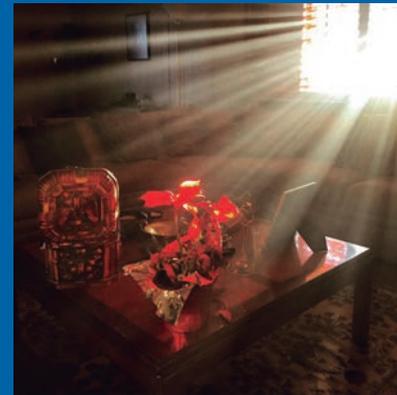


Figura 1.4. Desde antiguo se sabe que la luz sigue trayectorias determinadas por ciertas leyes (ley de reflexión, refracción, etc.). La imagen representa cómo los rayos de luz, en un medio macroscópicamente homogéneo (aire), siguen trayectorias rectilíneas.

Fotografía: Jalil Armijo.

hogueras o faros sirvieron en las primeras civilizaciones como herramientas de comunicación a larga distancia. Así, en el siglo III a.C. existía una red de señales de alerta a lo largo de 750 kilómetros de la Gran Muralla China (capítulo 10).

Se dice que nuestra era es la de las telecomunicaciones y que vivimos en la sociedad de la información. Ciertamente, la necesidad de comunicaciones rápidas y seguras se ha convertido casi en una necesidad vital, al menos en las sociedades avanzadas. El cubrir estas necesidades, en un futuro cercano, pasa por el desarrollo de tecnologías fotónicas, como se argumentará en el capítulo 10.

Otra de las tecnologías de indudable futuro y en la que la luz es un ingrediente fundamental es la llamada nanotecnología, tecnología basada en la nanociencia, que se presentará en el capítulo 11.

La nanociencia estudia los sistemas físicos comprendidos entre 10 y 100 nanómetros (10^{-9} metros). A estos niveles, la física clásica deja de funcionar, haciéndose necesaria la

teoría cuántica (o semiclásica) para explicar determinados fenómenos físicos especialmente peculiares. Una de las grandes innovaciones de la física cuántica fue postular que la naturaleza dual onda-partícula de la luz es igualmente cierta en la materia, de manera que los electrones son asimismo onda y partícula. Sabemos que la luz interactúa con los electrones libres o semilibres de determinados materiales. Las “ondas” asociadas a estos electrones (denominadas plasmones) producen fenómenos de interferencia de ondas, que dan lugar a la llamada “plasmónica”. Estos complejos fenómenos dan lugar a aplicaciones que inundan nuestra vida cotidiana: desde los discos compactos al uso de nanopartículas en nuevas técnicas biomédicas, pasando por distintos tipos de sensores utilizados en la nanoelectrónica. Todo un mundo nuevo por descubrir.

El libro finaliza con otro de los grandes retos de la humanidad: la energía. El acceso fácil y sin peligros a la energía es indudablemente uno de los pilares de nuestros sistemas socioeconómicos modernos. Como

se plantea en el capítulo 12, uno de los grandes retos actuales de la humanidad es el de ser capaz de desarrollar de manera plena las energías renovables como una alternativa real al uso de combustibles fósiles de naturaleza finita. La luz del Sol es indudablemente la principal fuente de energía disponible, sin menoscabo de otras posibilidades ligadas al viento, el agua o la energía geotérmica. No olvidemos que nuestra vida en el planeta es posible gracias al proceso de fotosíntesis de las plantas (capítulo 4), que en esencia produce energía gracias a la luz del Sol. Por todo ello, es imprescindible conocer las tecnologías actuales que nos permiten generar energía a partir de la luz del Sol y que son, principalmente, como se explicará en el capítulo 12, la solar térmica de concentración y la fotovoltaica.

Ciertamente, es abrumador constatar la presencia de la luz en toda la realidad y si aún la ciencia no ha postulado, como muchas religiones, que en el principio fue la luz, sí parece claro que el mundo no sería tal y como lo conocemos si no fuese por ella.