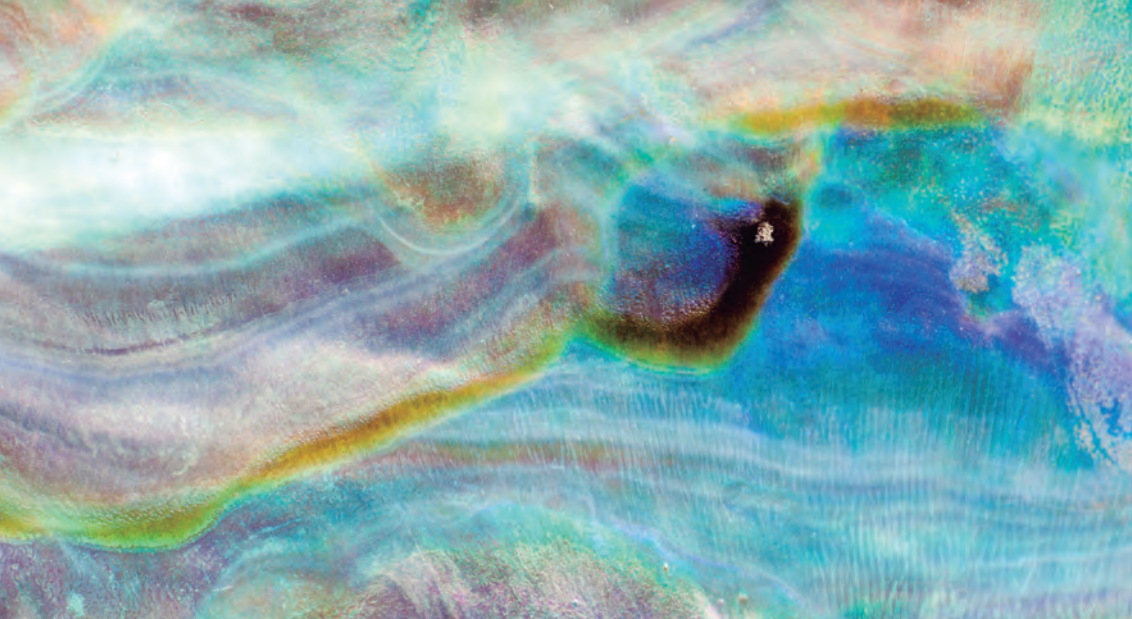




Pere Serra Coromina

Todos los colores del Universo

**El descubrimiento del espectro
de radiación electromagnética**



Todos los colores
del Universo

Pere Serra Coromina

Todos los colores del Universo

**El descubrimiento del espectro
de radiación electromagnética**



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Edicions

Colección
Catàlisis

Lo mismo que la ciencia humana
puede descomponer la luz y examinar cada uno de sus rayos...

CHARLES DICKENS,
Historia de dos ciudades

Sumario

<i>Preludio</i>	13
Capítulo 1. Historia de dos científicos	19
Capítulo 2. <i>Experimentum crucis</i>	37
Capítulo 3. «... si puede haber colores en la oscuridad»	51
Capítulo 4. La doble rendija	71
Capítulo 5. Cuestión de distancia	91
Capítulo 6. Una mirada penetrante	115
<i>Epílogo</i>	137
<i>Bibliografía</i>	145

Esta es la historia de un descubrimiento inusualmente largo.

Desde que se obtuvieron las primeras evidencias hasta que se dio por completado —si es que eso puede hacerse alguna vez del todo— pasaron dos siglos y medio, una duración muy superior a la de la mayoría de los descubrimientos científicos, que rara vez superan el espacio de una vida. En el transcurso de esos años, el hallazgo fue tomando poco a poco forma, como los esqueletos que componen los paleontólogos a partir de los fragmentos provenientes de los registros fósiles. Y, al igual que ocurre con la paleontología, durante el proceso se alternaron periodos en los que las evidencias se sucedían una tras otra con temporadas de calma y apatía.

Sin embargo, cuando vamos a buscar las herramientas empleadas para sacar el descubrimiento a la luz, no encontramos las paletas y los cinceles con los que escarban la tierra los paleontólogos, sino una cantidad considerable de experimentos de las más diversas índoles, cuyos resultados aportaron las piezas imprescindibles para dar forma al descubrimiento.

Algunos de esos experimentos fueron producto del azar; otros, de una estrategia planificada con todo detalle. Los hubo que nacieron de una idea feliz y otros que lo hicieron de un razonamiento elaborado y complejo. También hubo el fruto de algún prejuicio y un experimento inspirado por las estrellas. Y alguien imaginó uno que no llegó a realizar jamás, aunque habría acertado de lleno. Asimismo, algunos cayeron en el olvido y otros adquirieron fama de inmediato; e incluso hubo un experimento que su autor ocultó entre pliegos y más pliegos de papel por temor a una crítica despiadada.

Los experimentos se realizaron en laboratorios de investigación y en estancias privadas, en instituciones académicas y en palacios lujosos, en habitaciones oscuras y en jardines soleados; y los llevaron a cabo investigadores profesionales, profesores universitarios, aristócratas ociosos y científicos aficionados de distintos orígenes.

Esta es, en realidad, la historia de todos esos experimentos.

Preludio

El diagrama del espectro de radiación electromagnética es, junto con la tabla periódica de los elementos, uno de los pósteres más habituales en las aulas de ciencia y laboratorios de todo el mundo (en la red pueden encontrarse ejemplos para todos los gustos). Aunque el gráfico admite múltiples configuraciones, la versión más popular consiste en la representación de dos escalas rectilíneas paralelas, una de las cuales muestra la frecuencia¹ de oscilación del campo electromagnético y, la otra, la correspondiente longitud de onda.² Los valores extremos de las escalas no están bien determinados, por lo que suelen variar en función de las preferencias de su creador. Sin embargo, en todos los casos, su amplitud es tan grande que siempre deben presentarse en escala logarítmica, es decir, las marcas de graduación se disponen con un espaciado constante entre potencias de 10 consecutivas, en proporción geométrica: 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4 , etc.

Por regla general, las escalas están organizadas en secciones, de distintos tamaños unas respecto a otras, etiquetadas con el nombre de la radiación a la que corresponde cada una: ondas de radio, radiación infrarroja, luz visible, etc. A menudo, el diagrama se acompaña de figuras que com-

¹ La frecuencia es la magnitud que mide el número de oscilaciones que el campo electromagnético de la radiación experimenta por unidad de tiempo. Su unidad en el sistema internacional es el hercio (Hz). El periodo de oscilación —el tiempo necesario para que el campo experimente una oscilación completa— es el inverso de la frecuencia. Por ello, $1\text{ Hz} = 1\text{ s}^{-1}$.

² La longitud de onda corresponde a la distancia que recorre una onda a lo largo de un periodo de oscilación. Por tanto, la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por medio de la velocidad de propagación, que en el caso de la radiación electromagnética es la velocidad de la luz: el producto de la longitud de onda por la frecuencia es igual a la velocidad de propagación. Como en cualquier otra distancia, en el sistema internacional la longitud de onda se mide en metros (m).

plementan el contenido con información de carácter más visual. Así, es frecuente mostrar objetos de dimensiones similares a las longitudes de onda, los cuales ayudan al observador a hacerse rápidamente una idea de lo grandes o pequeñas que son esas longitudes; o también se añaden imágenes de aplicaciones prácticas de la radiación asociada a cada sección. Un vistazo rápido a la red permite darse cuenta de que las posibilidades son inagotables: pueden encontrarse desde espectros de una austeridad espartana hasta *collages* verdaderamente indigestos.³

En las representaciones más habituales del espectro, en las que la frecuencia se ordena en progresión creciente, la parte más baja de la escala está ocupada por las ondas de radio (en algunas versiones el extremo final se considera una sección aparte, la de las microondas). El rango de longitudes de onda de las ondas de radio es inmenso, desde miles de kilómetros hasta pocos milímetros. Por eso es común decorar la sección con imágenes de objetos de tamaños diversos: líneas eléctricas, edificios, figuras humanas o pequeños animales, cuyos tamaños casan bien con la horquilla de longitudes de onda de la sección, las únicas de dimensiones de escala humana. En lo que respecta a las aplicaciones, nos encontramos de lleno en el reino de las telecomunicaciones.

El final de las ondas de radio —de las microondas, si se quiere— marca el comienzo de la región infrarroja del espectro. Aquí penetramos en el mundo microscópico: las longitudes de onda abarcan desde el tamaño del ojo de una aguja hasta el de una bacteria más bien pequeña. La radiación infrarroja se asocia habitualmente a los fenómenos térmicos, ya que, a las temperaturas que experimentamos en la Tierra, los cuerpos emiten sobre todo ese tipo de radiación; puede decirse que, de hecho, vivimos siempre sumergidos en un océano de radiación infrarroja.

³ Uno de los ejemplos más impresionantes es el *Chart of electromagnetic radiations*, editado en 1944 por The Welch Company; una filigrana aturdidora que parece un retablo gótico confeccionado por un ilustrador de cómics. Merece la pena buscarlo.

Por encima del infrarrojo encontramos la luz visible. En comparación con las otras secciones del espectro, la franja que le corresponde es tan estrecha que, en las escalas de frecuencia y longitud de onda, sería imposible verla si no fuera porque en el diagrama se la representa siempre aparte, muy ampliada. Aunque parezca mentira, en un intervalo tan reducido de valores se alinean todos los colores puros que perciben nuestros ojos, los cuales, de acuerdo con las sensaciones que nos producen, hemos clasificado con los nombres de rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Los colores compuestos (marrón, morado, blanco, etc.) provienen de la superposición de algunas de estas tonalidades puras o de todas.

A medida que seguimos aumentando en frecuencia (disminuyendo en longitud de onda), después de la luz visible entramos en la región ultravioleta del espectro, con longitudes de onda del orden del tamaño de los virus y, por la banda baja, de proteínas más bien grandes, como los anticuerpos. Aunque, por lo general, los ojos de los vertebrados no responden al ultravioleta, hay bastantes insectos que pueden verlo, al menos las frecuencias más cercanas al visible. En el caso de los humanos, el efecto más evidente del ultravioleta es el bronceado que experimenta la piel después de la exposición continuada a la radiación solar.

Más allá del ultravioleta descubrimos los rayos X. Sus longitudes de onda abarcan desde el tamaño de las moléculas hasta los átomos. No hace falta decir que, si con algo asociamos los rayos X es, sin lugar a dudas, con las radiografías médicas, una prueba diagnóstica por la que quien más, quien menos ha pasado en alguna ocasión a lo largo de su vida.

En el último tramo del espectro, en las frecuencias más elevadas, encontramos los rayos gamma. Tienen longitudes de onda desde el tamaño de los núcleos atómicos hasta tan pequeñas como queramos. Al fin y al cabo, al estar en el extremo final del espectro, nunca se sabe hasta dónde se puede llegar. La radiación gamma casi siempre se asocia con la energía nuclear, ya que es un producto típico de las desintegraciones nucleares.

En esencia, todas estas radiaciones, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma, son lo mismo: un campo electromagnético oscilante que se propaga en el espacio. Todas son, pues, ondas electromagnéticas, sin otra diferencia entre sí que la frecuencia con la que oscila el campo. Sin embargo, la diferencia es suficiente para hacer que se manifiesten de las formas más variadas y que nosotros, por tanto, las bauticemos con distintos nombres; de hecho, es suficiente para hacer que unas radiaciones las empleemos para comunicarnos a largas distancias, y otras, para volver visible el interior de nuestra anatomía, que con unas nos calentemos desde que aprendimos a dominar el fuego hace milenios y con otras seamos capaces de eliminar patógenos desde que, hace apenas cuatro días, descubrimos la existencia de los gérmenes; y, naturalmente, la diferencia hace que, aunque no podamos ver la mayor parte de ellas, haya unas pocas, unas poquísimas radiaciones que de vez en cuando nos proporcionen el espectáculo del arco iris cuando el sol nos visita después de un rato de lluvia.

El arco iris es, sin ninguna duda, la manifestación más clara y evidente de la existencia del espectro electromagnético y, por tanto, la primera de la que nos dimos cuenta. Con toda seguridad, el fenómeno ya fascinaba a los homínidos que nos precedieron en la contemplación del cielo cientos de miles de años antes de la eclosión de nuestra especie. No obstante, aunque desde muy antiguo intentamos encontrarle una explicación —tenemos constancia de ello en los textos que han sobrevivido al paso del tiempo—, no fue hasta el siglo XVII cuando, en un experimento legendario llevado a cabo en una habitación a oscuras, un joven estudiante universitario inglés logró identificar la clave que permitiría empezar a descifrar esa realidad oculta.

Al descubrimiento del espectro cromático lo siguió el de la radiación infrarroja, después de que un astrónomo aficionado experimentara durante sus observaciones estelares una sensación de extraña incomodidad en el ocular del telescopio. Y, en un abrir y cerrar de ojos, un científico con una visión de la naturaleza un tanto quimérica se convenció de que en el

otro extremo del arco iris, más allá del color violeta, debía haber una tercera radiación que le hiciera de contrapunto al infrarrojo. Y así desveló la existencia de la radiación ultravioleta.

Las ondas de radio se descubrieron en la soledad de una sala de conferencias sin público, pero, en cuanto se dio a conocer el hallazgo, la noticia llegó rápidamente a las audiencias de todo el planeta. Poco después, en los jardines de un palacete del norte de Italia, esas ondas inauguraron una nueva era en el mundo de las comunicaciones.

Alrededor de las mismas fechas, un profesor universitario observó, casi por casualidad, un resplandor en una placa fluorescente que no sabía cómo explicar. Los experimentos que realizó para comprender el fenómeno lo llevaron a descubrir un nuevo tipo de radiación que parecía tener el poder de penetrarlo todo, los rayos X. Y, cinco años después, un científico poco convencional encontró un efecto similar con una radiación misteriosa proveniente de un nuevo material radiactivo: eran los rayos gamma.

A todos esos experimentos habría que añadirles otros que, sin desembocar necesariamente en el descubrimiento de alguna radiación concreta, marcaron el rumbo que lo hizo posible y a la vez ayudaron a tomar conciencia de que todas esas radiaciones, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma, formaban parte de una misma cosa, del mismo espectro. Un descubrimiento así, realizado a lo largo de una serie de experimentos que se entrelazan unos con otros, con éxitos y fracasos, requiere tiempo, por supuesto. Un tiempo que hemos acabado contando en cientos de años y que, atravesando épocas y geografías diversas, conforma una historia digna de ser contada.

CAPÍTULO 1

Historia de dos científicos

De cómo un científico inglés que no sabía mucho de matemáticas ideó el concepto de campo electromagnético; y de cómo otro científico —un escocés que sí sabía— desarrolló, gracias a eso, una teoría que permitía explicar todos los fenómenos eléctricos y magnéticos conocidos por aquel entonces; y de cómo se pudo predecir de esa forma la existencia de las ondas electromagnéticas.

El 28 de mayo de 1850, Charles Dickens, que por entonces ya era un novelista de renombre, envió una curiosa carta al número 21 de la calle Albemarle de Londres, sede de la Royal Institution.¹ La carta empezaba con el siguiente saludo:

Distinguido señor:

Me tomo la libertad de dirigirme a usted como si le conociera en persona, confiando en que puedo dar por hecho que excusará mi atrevimiento.

¹ La Royal Institution se fundó en 1799 con una orientación clara hacia las aplicaciones de la ciencia, en contraposición a la investigación más fundamental que se practicaba en la Royal Society.

El destinatario que Dickens no tenía el placer de conocer era Michael Faraday, director del laboratorio de la institución, y, aunque esas primeras líneas no eran otra cosa que una mera cortesía, el texto sí encerraba, más adelante, un verdadero atrevimiento: el escritor solicitaba al científico las notas de sus últimas conferencias.

Hacia poco que Dickens había puesto en marcha un nuevo proyecto, *Household Words*, una revista semanal de bajo coste en la que se publicaban desde artículos de interés general hasta novelas por entregas. Impresionado por el éxito que siempre tenían las conferencias de Faraday, aptas para todos los públicos, Dickens pensó que sería apropiado, de acuerdo con la vocación formativa de la revista, incluir breves relatos basados en los temas de sus charlas, por lo común explicaciones científicas de fenómenos domésticos como la química de una llama o el fundamento termodinámico de una tetera. De ahí que el novelista se decidiera a pedirle prestados al científico los apuntes que utilizaba para preparar las conferencias.

En unos tiempos en los que la copia de cualquier documento que no estuviera destinado a la imprenta tenía que hacerse a mano, era extremadamente raro que alguien conservara duplicados de unas notas preparatorias. Por eso la petición de Dickens era de una osadía poco común: si aceptaba, Faraday tendría que enviarle los originales; y eso hizo.

Ambos, Dickens y Faraday, compartían un mismo afán por llegar al gran público, sobre todo a la gente de clase trabajadora, buena parte de la cual había tenido una escolarización deficiente y vivía en unas condiciones que, si no miserables, eran cuando menos precarias. En unas narraciones atestadas de sentimentalismo y personajes extravagantes, Dickens denunciaba las desigualdades que la sociedad victoriana toleraba con indiferencia. Y, gracias a su justa proporción de sátira y melodrama, el escritor logró triunfar no solo entre la clase media instruida, sino también —y ahí radicaba la novedad— entre los obreros analfabetos que pagaban medio penique para que alguien les leyera la próxima entrega de *Oliver*

Twist. Por su parte, Faraday, con las conferencias que impartía en la Royal Institution desde 1823, había llevado el arte de la comunicación a un nivel desconocido hasta el momento. Haciendo uso de un lenguaje sencillo y cercano, y de multitud de experiencias demostrativas, el científico explicaba a la gente de la calle la ciencia que se escondía detrás de los hechos más cotidianos.

El interés tanto de Dickens como de Faraday por dar acceso a la cultura y al progreso a una clase trabajadora ignorada hasta entonces permite entender en nuestro tiempo que el segundo aceptara sin reservas ceder al primero los preciados originales de las notas de sus conferencias. El 11 de diciembre de ese 1850, con algunos «relatos científicos» ya publicados en *Household Words*, Dickens envió otra carta a Faraday, esa vez acompañada de un obsequio —un libro— como muestra de agradecimiento. Aunque el texto de la carta no aclara su título, por la fecha en la que se envió todo apunta a que el obsequio era un ejemplar de la primera edición de *David Copperfield*, considerada hoy en día una de las obras maestras del autor.

De no haber sido por ese episodio, es probable que Dickens y Faraday, con actividades tan distintas el uno del otro, no hubieran intercambiado ni una palabra a lo largo de su vida. Sin embargo, no fue así y es una suerte, ya que hay que reconocer que la historia tiene un encanto especial. Sobre todo, cuando descubrimos que la figura del propio Faraday parece surgida de las páginas de una obra de Dickens. Basta con echarle un vistazo a su biografía para darnos cuenta de que no ha existido un científico más digno de protagonizar una novela dickensiana que Michael Faraday. Es como si, al pedirle las notas de las conferencias, Dickens se hubiera dirigido desde la realidad a uno de sus propios personajes de ficción.

Procedente del norte de Inglaterra, la familia de Faraday se había afincado en Londres con pocos medios unos meses antes del nacimiento del futuro científico. Hijo de un herrero de salud frágil, el pequeño Michael pasó su infancia entre la calle y la escuela, de la que él mismo nos hizo sa-

ber que recibió una «educación de la índole más ordinaria, consistente en poco más que unos rudimentos de lectura, escritura y aritmética». Y, cuando ya estaba muy cerca de la adolescencia, el empeoramiento de la salud de su padre y el aumento del precio de los alimentos lo obligaron en 1804, con tan solo trece años, a dejar la escuela y ponerse a trabajar para ayudar a mantener a la familia con su salario. Así fue como el joven Michael se incorporó al taller de un librero y encuadernador francés que se llamaba George Riebau.

(El origen humilde, la escolarización mediocre, las dificultades económicas, el ingreso en el mundo laboral a una edad aún tierna, un patrón poco habitual —librero, encuadernador y francés—: a la receta dickensiana no le falta ni un solo ingrediente. Ahora, para ir bien, la narración tendría que continuar con una historia de superación personal que pusiera de manifiesto las virtudes del protagonista).

Al principio, el trabajo consistió únicamente en repartir los periódicos, una tarea sencilla, apropiada para un adolescente sin apenas estudios ni experiencia. Pero la vivacidad del joven pronto llamó la atención de Riebau. Pensando que Faraday podría llegar a convertirse en un buen artesano, el francés le propuso que fuera su aprendiz de encuadernador. Nadie habría podido imaginar entonces las repercusiones de esa oferta. Además de ponerles las cubiertas, a lo largo de los años Faraday se dedicó a leer tantos libros como pudo de entre los que pasaron por sus manos, de cualquier género y temática. Enseguida descubrió que los que más le gustaban eran los de ciencia y, hechizado por los experimentos que describían, habilitó un rincón del taller de encuadernación para instalar un pequeño laboratorio casero en el que poder reproducirlos. Y, para completar el programa de aprendizaje que se había impuesto, asistió a tantas conferencias como le fue posible, cada vez de científicos más prestigiosos. Por desgracia, tarde o temprano la cruda realidad de la era victoriana tenía que imponerse para demostrarle que ciertas pretensiones no estaban al alcance de un simple aprendiz de encuadernador.