

Las modernas teorías de la física

Las teorías científicas, en el afán de explicar los fenómenos sin contradecirse, o tratando de reducir las contradicciones a un mínimo, cambian constantemente y cada día creemos acercarnos más a la verdad.

No es raro que en la eterna persecución de la verdad, los científicos, miren hacia el pasado y encuentren que viejas teorías sirven de fundamento a nuevas ideas. En el hermoso artículo de vulgarización, traducido del número de julio de la «Revue des Deux Mondes», que reproducimos a continuación se explica de una manera sencilla, cómo la vieja teoría corpuscular de Newton, sobre la propagación de la luz, tenía su parte de verdad y como se ha rejuvenecido a través de la moderna concepción de los «cuanta» relacionándose con la teoría ondulatoria.

Debemos agradecer al Ing. Don Javier Herreros V. la traducción del artículo de Mr. Fabry, que no dudamos ha de interesar a los lectores de los ANALES.

QUE es la luz? ¿Qué es ese sutil mensajero que nos pone en relación inmediata con lo que nos rodea y nos ha hecho descubrir el universo? Varias veces en la historia de la ciencia se ha creído saberlo de manera definitiva; varias veces la certidumbre ha cedido el lugar a la duda. Dos grandes teorías se han disputado el favor de los físicos: la

teoría de las ondas, ha sido llevada muy lejos en sus consecuencias; la otra, más sumaria asimilaba un rayo de luz a la trayectoria de proyectiles tenues lanzados por los cuerpos luminosos.

Parece hoy día cierto que cada una de esas teorías contenía una parte de verdad y que una síntesis de las dos, englobando las ondas y los proyectiles, las balísticas de los corpúsculos y los fenómenos vibratorios, es una cosa posible. Voy a tratar de dar aquí una idea del gran movimiento científico que nos condujo a este resultado inesperado.

La teoría de las ondas luminosas estaba en pleno florecimiento hace solamente 40 años; nadie hubiera osado emitir la menor duda sobre su aptitud para explicarlo todo y es cierto que agrupaba, en armonioso conjunto un número inmenso de hechos. Ya Huyghens, a fines del siglo XVII, había desarrollado un embrión de teoría de las ondas luminosas y mostrado el partido que se podía sacar para explicar ciertos hechos; pero otros fenómenos quedaban fuera y Newton había tenido fundamentos para declarar inaceptable esta teoría todavía imperfecta.

A comienzos del siglo XIX, con Thomas Young y con Fresnel, todas las dificultades parecían haber desaparecido. Todas las particularidades de la propagación de la luz se agrupaban alrededor de la teoría de las ondas. El sonido rodea los obstáculos en tanto que la luz se propaga

en línea recta; Fresnel mostró que eso se debe a la extrema tenuidad de las ondas luminosas. Para recorrer un milímetro (con una maravillosa rapidez, pues en un segundo daría la vuelta 7 veces a la tierra, si pudiera girar en círculo) ella hace alrededor de 2,000 pasos; el menor obstáculo detiene esas ondas minúsculas.

Sin embargo, examinando las cosas en detalle se ve que esta propagación no puede ser rigurosamente rectilínea; las menores particularidades, a veces paradójales, previstas por la teoría de las ondas se encuentran verificadas por la experiencia. La complejidad de la luz blanca, uno de los grandes descubrimientos de Newton, se explica por la superposición de una infinidad de vibraciones diversas; las *radiaciones simples* se distinguen unas de otras por la rapidez más o menos grande de la vibración. En fin, el fenómeno de la polarización de la luz condujo a la idea que la vibración luminosa es trasversal respecto a la dirección de la propagación, como la de un hilo tenso y tocado en un punto, pero en oposición completa con aquella que puede transmitir un fluido como el aire o como el agua. Desde 1825 se habían obtenido todos esos resultados y bien pronto fueron considerados indiscutibles.

Sobre estas bases se desarrolló, a lo largo de todo el siglo XIX, la ciencia de la luz ensanchada y llegó a ser la ciencia de las vibraciones. La luz es, en principio, lo que nuestro ojo percibe; como en los otros dominios de la física, son nuestras sensaciones las que nos han revelado el mundo; la fisiología de las sensaciones y la física pura están, en su origen, estrechamente confundidas. Pero poco a poco las dos ciencias se separan, separación que se hizo necesaria cuando se estableció que nuestro ojo nos muestra solamente una ínfima parte del conjunto

de las radiaciones reveladas por retinas artificiales menos especializadas que la nuestra o especializadas de otra manera. El descubrimiento de los rayos X en 1895, el de las ondas electromagnéticas en 1888, terminaron de revelarnos el inmenso dominio de las radiaciones formando uno de los elementos fundamentales del universo. Y todo esto no es más que vibraciones propagándose a través del espacio con la misma velocidad de 300,000 kilómetros por segundo, con una rapidez de vibraciones siempre enorme pero, sin embargo, más o menos grande.

EL ÉTER

Era aquí donde habría sido preciso limitar sensatamente la teoría ondulatoria de la luz; algo periódico que se propaga. Pero el espíritu humano no gusta de la abstracción; le es preciso un soporte a sus pensamientos; el verbo *vibrar* pide un sujeto. Una vibración se propaga: ¿qué es lo que vibra? ¿Y que es lo que propaga gradualmente la vibración con una rapidez casi increíble? El sujeto del verbo *vibrar* existía desde largo tiempo, era el sustantivo *éter*. Porque este rol gramatical no podía convenir a la *materia* que no es necesaria a la propagación de la luz, que no hace aun más que retardarla y estorbarla. Entre el Sol y la Tierra no hay nada y sin embargo la cantidad de energía que nos envía el sol es realmente formidable; el éter está para transmitirla.

Pero, ¿qué es lo que es ese misterioso éter? Los físicos no podían contentarse con una palabra sin ligarle un sentido preciso; ellos debían tratar de penetrar, si no la esencia, por lo menos las propiedades de lo que puede ocultarse bajo ese nombre. Para definir el éter, la palabra *fluido*, que acepta bien el epíteto *sutil* era bastante tentadora; pero para los físicos la

palabra *flúido* tiene un sentido lamentablemente preciso. Un flúido es el aire, es el agua, es un cuerpo que cambia de forma sin resistir, con tal que se respete su volumen.

Un flúido así propaga admirablemente las ondas sonoras donde cada lonja comprime la siguiente, pero no puede transmitir nada que se parezca a la onda luminosa tal como la conocemos. Si el éter no es un flúido y se parece a un medio material ¿será un sólido? acero? caucho? Aun se ha dicho ¿algo como la pez? Pero este sólido debe dejarse atravesar por los cuerpos sin oponer la menor resistencia. Finalmente, todas las tentativas hechas para sacar al éter del dominio puramente verbal han conducido a echar al mundo verdaderos monstruos, medios inmateriales contruídos a imagen de la materia, dotados de las propiedades más contradictorias e incapaces de llenar el rol que se les asigna.

Sin ensayar *construir* el éter, que se nos escapa ¿no se podría llegar a hacer cierta su existencia? Ved lo que pasa en el aire que nos rodea. Inmóvil, nos es necesario, pero no se manifiesta a nuestros sentidos; lo sentimos cuando se desplaza o cuando nosotros nos desplazamos rápidamente respecto a él? ¿No podría ser lo mismo para el éter? Nuestra tierra rueda en su órbita con una velocidad de 30 kilómetros por segundo; si existe un éter inmóvil, el movimiento de la tierra debe manifestarse por un *viento de éter* que debe actuar sobre la propagación de la luz como actúa el viento sobre la propagación del sonido en el aire. Veinte veces se ha ensayado poner en evidencia tal influencia: siempre el resultado ha sido negativo. La más perfecta de esas experiencias ha sido la de Michelson que data de 1881: el efecto del viento de éter, que hubiera debido ser fácilmente observable, no se manifestó. La misma experiencia

ha sido después repetida muchas veces en llanos, en cimas, en globos; con gran contrariedad de los físicos la esperanza de manifestar el movimiento de la Tierra con relación a un medio exterior ha sido siempre defraudada.

Este fué el origen de ese grande y hermoso movimiento de ideas que se ha designado bajo el nombre, un poco vago y engañoso, de *relatividad* que algunos han mirado como un movimiento revolucionario, aun como nefasto y disolvente y que, sin embargo, no era más que una magnífica prolongación de ideas de simple buen sentido, llevadas, se puede decir, hasta la paradoja. Se puede definir bien el movimiento relativo de dos cuerpos; el movimiento o el reposo *absoluto* respecto a un éter inmóvil, respecto a la nada, no tiene ningún sentido.

Un éter con propiedades que se parecían, por poco que sea, a las de un medio elástico, no existe. Hay siempre vibraciones, pero el verbo *vibrar* no tiene sujeto.

LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

Uno de los últimos y el más potente de los que han ensayado construir un éter ha sido el ilustre físico escocés Clerk Maxwell que tomó las cosas de mucho más arriba que sus predecesores. La luz no es la única acción que se manifiesta a través del espacio vacío: dos cuerpos electrizados actúan uno sobre otro, el imán desvía la brújula de una aguja sin que sea necesaria la presencia de ningún medio material para la propagación de esas acciones ¿Es posible explicarlas por las propiedades de un éter que llenaría todo el espacio? Pero ya un éter está encargado de transmitir la luz, ¿es razonable imaginarse dos? Esto plantea el problema que Maxwell tentó resolver: construir un éter cuyas propiedades expliquen a la

vez la propagación de la luz y la de las acciones electromagnéticas.

El fracaso, una vez más, fué completo: ningún medio parecido a los medios elásticos que conocemos puede darnos cuenta de este conjunto complejo y variado. Pero de este fracaso surgía una de las cosas más bellas de la física moderna: la «teoría electromagnética de la luz». La noción de ondas electromagnéticas nos es hoy día familiar: todo el mundo sabe que ellas son producidas en las usinas donde se utilizan todos los recursos de la electrotécnica, que son emitidas por antenas y que se las recibe en todas partes. Hacia 1860, en la época en que Maxwell elaboraba su teoría nada de eso existía; nadie había visto propagarse una onda eléctrica, nadie había medido su velocidad de propagación. Y, sin embargo, partiendo de las leyes de los fenómenos electromagnéticos conocidos desde Coulomb, Ampère y Faraday, Maxwell afirmó que tales ondas debían existir: calculó la velocidad y la encontró justamente igual a la velocidad de la luz. Afirmó entonces que entre la luz y la onda electromagnética no había *analogía* sino *identidad*. Todas las radiaciones, visibles o invisibles, son realmente ondas electromagnéticas que no difieren entre ellas más que por la rapidez más o menos grande de sus vibraciones. En cuanto al éter, despojado de toda realidad, se lo abandona al vocabulario de los poetas.

Se necesitó tiempo para que los físicos se habituasen a esta nueva manera de expresar las cosas. Parecía aun a aquellos que habían sido criados con la teoría de las ondas, que la teoría electromagnética no explicaba nada; ella ahogaba el enigma de la luz en lo desconocido de la electricidad.

Fué solamente después que Herz hubo producido ondas eléctricas por medio de una admirable simplicidad y medido su

velocidad, que se apercibió realmente la grandeza de la obra de Maxwell; cosa notable, ella no cambió casi nada en las costumbres existentes. Fresnel y sucesores hablaban de vibraciones dando a esta palabra el sentido concreto que se da al desplazamiento de un medio material. Toda idea de ese género ha desaparecido: hay solamente cambio periódico y rápido del estado electromagnético en el espacio; se puede también hablar de vibraciones u oscilaciones tomando esas palabras como metáforas. Se habla también de *oscilaciones* de la política o de la opinión pública y todo el mundo entiende lo que se quiere decir.

El advenimiento de la teoría electromagnética no cambió nada en la expresión de esas leyes; la obra de Fresnel y sus sucesores no fué atacada en nada. Al contrario, fué, completada y precisada. La emisión de la luz se encontró ligada al movimiento de cargas eléctricas como la de las ondas eléctricas se liga a la corriente eléctrica en la antena; la influencia de los campos electromagnéticos sobre la propagación de la luz, de la que Faraday había descubierto el primer ejemplo, cesó de ser un enigma incomprendible.

LA ATOMIZACIÓN DE LA LUZ

Pero he aquí que poco a poco, casi sin ruido, hechos nuevos vinieron a introducir en el estudio de la luz ideas revolucionarias diversas de las de Maxwell y de Einstein. El atomismo, más y más preciso, invadía progresivamente toda la física. Después de la materia la electricidad se resolvía en átomos: un cuerpo electrizado contenía realmente un cierto número de átomos de electricidad muy pequeños y numerosísimos pero separables y contables como granos de arena. Y he aquí que a su vez la luz se revelaba

como separable en granos separados, en átomos de luz!

Era en sus relaciones con la materia como la luz se manifestaba bajo este aspecto nuevo; parecía que la materia totalmente *atomizada* en el espíritu de los físicos quería, por una especie de contagio, imponer su régimen a la luz que actuaba sobre ella o emitida por ella.

Fué primero en la producción de la luz por los cuerpos sólidos calentados, como se introdujo esta noción. Todo cuerpo sólido calentado emite luz: esto se liga a la agitación rápida de las cargas eléctricas que contiene todo cuerpo. Pero para explicar numéricamente los hechos, Plank fué obligado a introducir la extraña hipótesis de que la emisión se hace, no de una manera continua, sino por pequeños paquetes indivisibles por *quanta* determinados.

Era la primera tentativa de atomización de la luz. Más tarde otros fenómenos iban a conducir a la misma necesidad que se acentuó todavía con el descubrimiento de los rayos X, de la misma familia ondulatoria que la luz pero donde el aspecto *atómico* se revelaba de una manera todavía más evidente. El efecto fotoeléctrico, consistente en átomos de electricidad lanzados por los átomos de materia sometidos a una radiación, evoca invenciblemente la idea de que no hay el efecto continuo de una *onda* sino fenómeno de *choque* entre la materia y un proyectil que sería la luz; es casi imposible escribir las leyes sin introducir, bajo una forma una otra, el *quantum* de luz que se parece mucho a un átomo de radiación.

Poco a poco, y casi a su pesar, los físicos atomistas se encontraron cogidos por esta noción de corpúsculo de luz; la usaban casi sin atreverse a decirlo, sabiendo bien que la onda luminosa quedaba como una realidad sin la cual

sería imposible entender ni aun enunciar las leyes de la óptica.

Un buen día, hace menos de 10 años, toda falsa vergüenza desapareció: el nombre de *foton* apareció para designar el átomo de luz. A partir de ese momento las publicaciones científicas están llenas de esa palabra nueva; se habla del choque de un *foton* contra un átomo de materia o de electricidad, de su «energía cinética», de su «cantidad de movimiento». Se aplica a sus choques las reglas de la mecánica sin preocuparse más de la onda, como si la naturaleza vibratoria de la luz no hubiera sido jamás reconocida.

Si la palabra *foton* era nueva, la idea de la luz debida a proyectiles era, al contrario, muy antigua. Era la idea de Newton y sobre todo de sus sucesores, que se titulaban ellos mismos newtonianos, discípulos menos prudentes, como ocurre a menudo, que lo que había sido el maestro.

Era la idea de la «teoría de la emisión» que parecía haber sido puesta fuera de combate definitivamente, al comienzo del siglo pasado, por la teoría de las ondas. En el hecho esta teoría corpuscular no había nunca explicado nada hasta el advenimiento del atomismo.

Todos los hechos más evidentes de la óptica la contradecían; no era capaz de hacer comprender la constitución compleja de la luz blanca, mezcla de radiaciones simples en número infinito formando una serie continua. ¿Imaginas una diversidad de proyectiles igual a la diversidad de radiaciones simples? Pero si éstas se suceden por grados insensibles, no se puede hacerlas corresponder a objetos distintos, por numerosos que sean. El éxito de la teoría de las ondas había sido completo; el derrumbe de la «teoría de la emisión» había sido tal que su nombre estaba casi olvidado.

Así, la admiración fué grande entre

los profesionales de la óptica y de las radiaciones cuando se vió resucitar esta teoría corpuscular primero tímidamente, después de una manera brillante. Y lo más grave era que los «atomistas» sabían muy bien la impotencia total de su teoría para sustituirse a las ondas en coordinar los innumerables hechos de la óptica cuya ligazón forma uno de los más hermosos cuerpos de doctrina de la física.

Durante un cierto tiempo la situación se encontró intolerable y casi ridícula; en un mismo número de una revista científica se veía una memoria en que la luz era tratada como un conjunto de ondas electromagnéticas (porque era imposible tratar de otra manera los problemas de la óptica clásica) y un trabajo de un «atomista» donde se veía a los *fotones* romper átomos y rebotar sobre electrones. Las dos teorías parecían inconciliables: toda unidad de doctrina parecía haber desaparecido.

LA MECÁNICA ONDULATORIA

¿Era preciso renunciar para siempre a hacernos una imagen coherente de uno de los más grandes fenómenos de la naturaleza y admitir una división del dominio científico entre dos teorías inconciliables? Debemos a Mr. Luis de Broglie el apereibir la posibilidad de escapar a esta triste necesidad. Las dos teorías de la luz no serían contradictorias más que en apariencia; no es una humillante división la que debería llevar la paz al dominio científico; es una fusión completa de los aspectos percibidos desde dos puntos de vista diferentes, cada uno de los cuales mostraba una parte de la verdad. Según los casos, es uno u otro de los aspectos el más importante, pero los dos elementos, onda y proyectil, están siempre presentes. No hay onda sin

algo que haga el papel de un proyectil que la óptica ondulatoria había despreciado y que los atomistas habían visto bien, despreciando la onda; no hay movimiento de un cuerpo sin producción de un fenómeno ondulatorio, cuya naturaleza se nos escapa, pero que existe.

En la mecánica clásica, donde el estudio de las masas relativamente grandes (aunque sea un milígramo, lo que es inmenso para la escala atómica) con velocidades débiles (aunque sea la de un obus, velocidad irrisoria respecto a la de la luz) el lado *ondulatorio* del fenómeno es enteramente insensible. El se revela, sobre todo, en los movimientos rápidos del átomo de electricidad, del *electrón*, cuya masa es la más pequeña que se pueda aislar. Un hermoso descubrimiento, previsto por Luis de Broglie y confirmado por la experiencia, ha venido a poner en evidencia este carácter ondulatorio de la carga eléctrica en movimiento. El electrón lanzado, imagen perfecta, parece, del rayo corpuscular, puede sufrir sobre los cristales una reflexión regular como lo hace una onda; los atomistas habían ensayado *atomizar* la luz; nosotros acabamos de ver *ondular* al proyectil.

Todo un cuerpo de doctrina, casi una ciencia nueva, está en camino de formarse alrededor de las ideas de Luis de Broglie, y es en la mecánica interna del átomo donde ella encuentra su mayor éxito. El átomo está formado de cargas eléctricas en movimiento; la mecánica clásica había sido incapaz de sujetar esos movimientos a sus leyes. Ha resultado, durante años, una extraña anarquía a la cual se había terminado casi por habituarse, pero que no era menos incómoda para los espíritus afectos a la lógica. Después de haber aplicado estrictamente principios sólidos y llegado a imposibilidades, se estaba obligado a

decir, como en ciertas leyes humanas, por «excepción especial tal artículo de la ley dejará de ser aplicable en tal caso».

Esto puede servir para evitar catástrofes, pero no es muy buen método científico cuando la «excepción» no se justifica por ninguna buena razón. La mecánica ondulatoria explica el fracaso y restablece las cosas. Se había olvidado la onda asociada a estos movimientos inter-atómicos. No son las leyes de la mecánica las que es necesario aplicar, sino las de la propagación de las ondas: toda «excepción» queda abolida.

Así las ondas están en todas partes: a todo movimiento se asocia misteriosamente una onda; la mecánica está anexada a una especie de óptica ondulatoria generalizada. Pero ¿qué es lo que ondula? ¿y cómo? Aquí, silencio completo. ¿Qué realidad se oculta bajo esta *vibración* que no puede ser tomada como una metáfora para decir que *algo* varía periódicamente? Hemos aquí lejos de las *vibraciones del éter* que servían de soporte a las ideas de Fresnel y de sus sucesores!

La onda de Luis de Broglie asociada a todo movimiento queda misteriosa, vacía de toda imagen concreta; las ecuaciones que la representan contienen sím-

bolos, que se tratan según las reglas del álgebra, pero que no representan nada tangible. Los marcos rígidos, tan sólidos en apariencia, que contenían la ciencia de hace 50 años, se han encontrado demasiado estrechos para contener todos los hechos; los nuevos marcos son muy amplios, pero es necesario renunciar a darles contornos precisos. Es preciso renunciar, probablemente para siempre, a imaginar *resortes ocultos* que reglarían el Universo casi como se imaginaría el mecanismo de un reloj que no se sabría desarmar; estos mecanismos imaginarios, en el fondo un poco infantiles, están rotos todos.

Todo pesar será inútil: las nuevas teorías han conducido a importantes descubrimientos aun en el dominio puramente experimental, sugiriendo investigaciones de laboratorio que nadie hubiera soñado emprender. Admiramos el atrevimiento de la construcción, la importancia de las ligazones que ella establece entre cosas que nos parecían enteramente irreductibles las unas a las otras; en fin, admiremos la belleza de los resultados tangibles sugeridos por puras fórmulas matemáticas.

CHARES FABRY.