



J.A.S.

270





EL RADIO  
Y LAS NUEVAS RADIACIONES





A. BERGET

Individuo del Laboratorio de Investigaciones físicas de la Sorbonne,  
Doctor en Ciencias.

---

# EL RADIO

## Y LAS NUEVAS RADIACIONES

TRADUCIDO AL ESPAÑOL

POR

E. NAVARRO BELTRAN DEL RIO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos,  
Exprofesor numerario de Electrotécnica de la Escuela de Ingenieros  
industriales de Bilbao.

Con figuras intercaladas en el texto.

J. L. V.  
BIBLIOTECA

N-150

MADRID

LIBRERÍA EDITORIAL

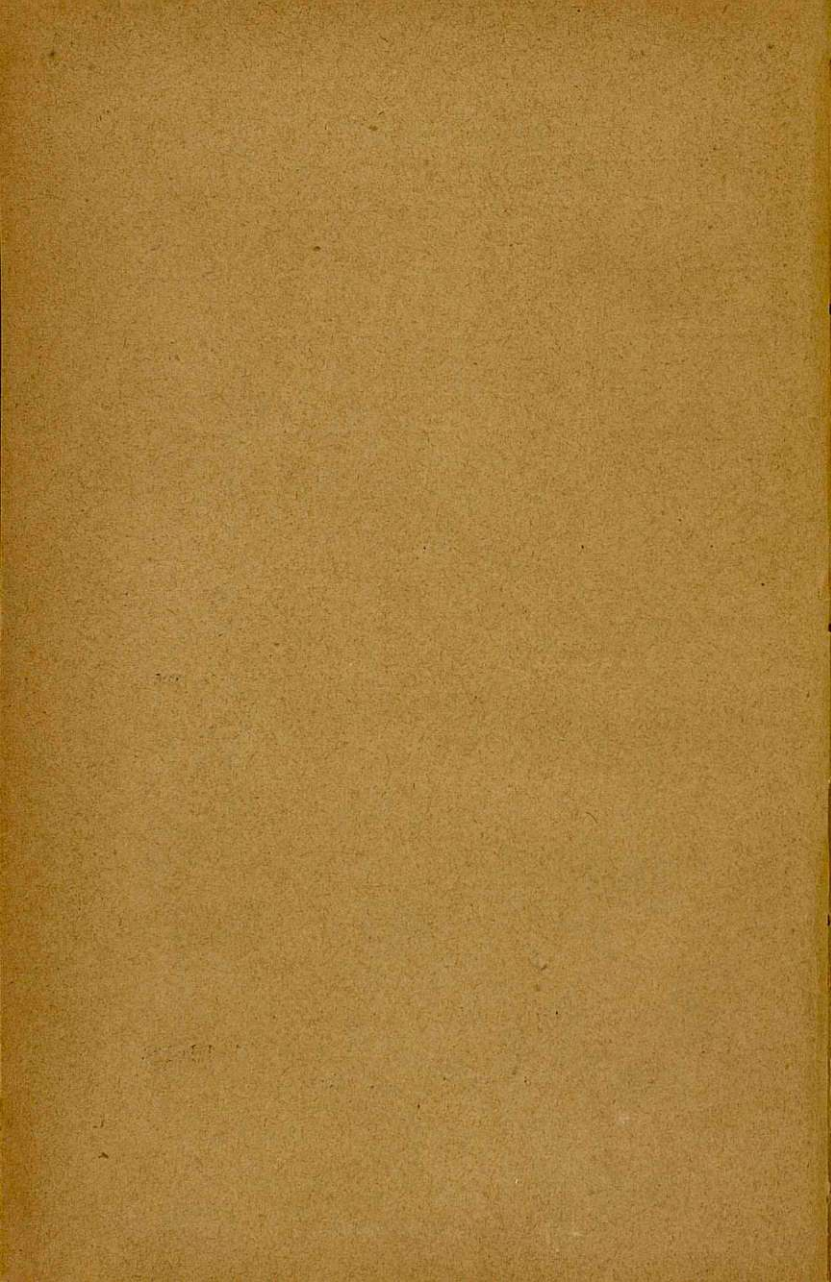
DE BAILLY-BAILLIERE E HIJOS

Plaza de Santa Ana, núm. 10.

1904

20-10-907



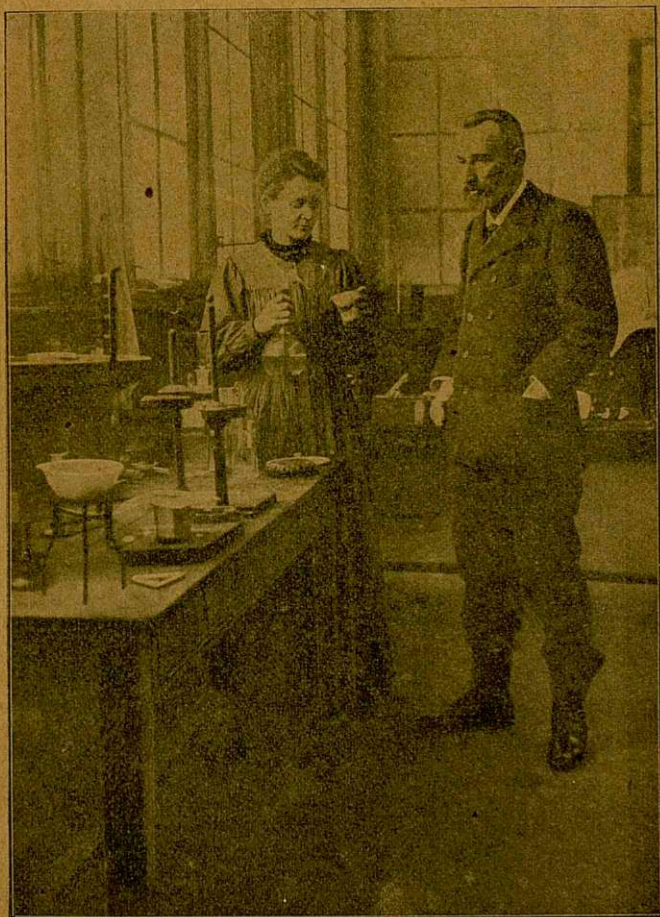




Cliché Pirou.

Mr. Becquerel.





Mr. y Mme. Curie en su Laboratorio.

# EL RADIO

## Y LAS NUEVAS RADIACIONES

---

### INTRODUCCION

En el mes de octubre del año 1492 un audaz genovés, Cristóbal Colón, partió de España con tres pequeñas naves y descubrió un Nuevo Mundo. Este acontecimiento produjo una revolución completa en los conocimientos humanos de aquella época. Entonces se creía que Europa, Asia y África constituían el conjunto de la tierra, y he aquí que del otro lado del Atlántico surge un continente nuevo, separado del Asia por un Océano inmenso; continente en el cual todo era desconocido, todo estaba sin explorar, y que con-



tenía riquezas inauditas en oro, plata y piedras preciosas.

El descubrimiento de América vino á ser uno de los factores más poderosos en la evolución de la humanidad entera, en el desarrollo de su actividad general. Orientó las energías y las voluntades en un nuevo camino, y, por un reflejo inevitable, de las nuevas civilizaciones que la continuada emigración fundó en el Mundo Nuevo salieron ideas nuevas, que á su vez conquistan hoy al viejo mundo, en el cual modifican la industria y aun las costumbres.

En 1896, un hecho tan importante, un descubrimiento á lo menos tan capital, se realiza en el dominio de las ciencias físicas, no obstante estar tan explorado: es el descubrimiento de una nueva propiedad de la materia, la *radiactividad*, debida al ilustre físico francés Henri Becquerel, miembro del Instituto, profesor de Física de la Escuela Politécnica.

Este descubrimiento es para la Física

tan importante como lo fue el de la América para la Geografía. El abre á las investigaciones de los sabios un mundo nuevo no sospechado. Hace ver cómo existen en el Universo fuerzas y transformaciones de la fuerza que nos son ignoradas; de donde podemos inducir que todavía hay otras, sin duda, que no sospechamos. El parece en contradicción con las leyes actualmente admitidas en la Física general, lo que nos obliga á revisar estas leyes y á modificarlas. El, en fin, por el fenómeno, todavía inexplicable, de la *emanación*, ha llevado á los físicos á investigar si se había manifestado un nuevo estado de la materia.

Consiste ello, esencialmente, en que ciertos cuerpos pueden emitir, durante un tiempo casi indefinido, calor, luz, electricidad, sin recibirlo de fuera, sin disminuir de peso y sin que su poder radiante se debilite. Es lo inverso del tonel de las Danaides, algo tan extraordinario como un vaso que permaneciese constantemente



lleno aunque se consumiera sin cesar del líquido que contenga.

Sí. Es un mundo nuevo que explorar, cuyo Cristóbal Colón es incontestablemente nuestro compatriota Henri Becquerel.

Y para que la comparación con el ilustre navegante sea completa, de la misma manera que á continuación de Colón se abalanzaron atrevidos conquistadores, los Pizarro, los Cortés, los Vespucio, que exploraron el Nuevo Continente y descubrieron sus riquísimas comarcas, siguiendo el camino trazado por Becquerel, sabios y laboriosos investigadores han hecho descubrimientos cuya importancia no se oculta á nadie. En primer lugar, entre estos descubrimientos se halla el de un cuerpo nuevo, que resume en el más alto grado la radiactividad de la materia; se llama por esto el *radio*, y ha sido *buscado* y encontrado por el señor y la señora Curie, dos sabios franceses cuyo nombre es hoy justamente popular.

El radio resume, exaltándolas, todas las nuevas propiedades de la materia descubiertas por Becquerel. Ha permitido encontrar otras además, haciendo concebir esperanzas sin límite. Nosotros vamos á intentar hacer un bosquejo de su historia.

Este pequeño libro ha sido escrito para exponer, tan claramente como nos sea posible, lo que se ha hecho para llegar á ese descubrimiento, lo que de ello se sabe actualmente y lo que puede esperarse para el porvenir.

Yo me he abstenido de todo ropaje literario, de toda frase pomposa. La grandeza del objeto basta, sin que sean necesarios ornamentos superfluos. El cuadro es mucho más hermoso que todos los marcos con que se le pretendiera engalanar. He evitado también las reflexiones, un tanto festivas, con que se amenizan generalmente los libros de vulgarización científica. Un descubrimiento de la importancia del que nos ocupa dirige el espíritu hacia



las ideas serias y no hacia entretenimientos inútiles.

Me he esforzado, sobre todo, en ser claro. Y de esta manera, siendo comprendido por todos, espero haber rendido un modesto homenaje al genio de los sabios que vienen á aumentar con un brillante florón la corona de gloria de nuestro país.

ALPHONSE BERGET,

Doctor en Ciencias.

---

## CAPÍTULO PRIMERO

### NOCIONES PRELIMINARES

*Fosforescencia.--Fluorescencia.--Rayos catódicos.--Rayos X.*

En lo mucho que se ha escrito durante estos últimos tiempos sobre el radio se habla de sus propiedades, de los fenómenos que provoca, de las manifestaciones físicas que le acompañan, pero se olvida que estos distintos hechos no son familiares á todo el mundo.

Por esto yo he pensado que sería conveniente recordar las nociones indispensables á la clara inteligencia de los nuevos descubrimientos, las cuales ayudarán en lo sucesivo al lector á comprender mejor los ulteriores trabajos sobre el radio, de que hablarán en los periódicos á medida que se hagan.



Si este primer capítulo puede parecer árido, yo lo estimo, sin embargo, necesario, como es necesaria la fatiga del ascenso á una torre á los que quieren gozar del hermoso panorama que se ve desde su cúspide.

No nos remontaremos á las definiciones del calor, la luz y la electricidad. Hoy los físicos, fundándose en poderosas razones, admiten que estos dos últimos agentes se propagan por el mismo mecanismo y con la misma velocidad.

Pero en los artículos de los diarios y de las revistas que hablan del radio hay ciertos términos que se usan á menudo, tales como *fluorescencia*, *fosforescencia*, *rayos catódicos*, etc., y voy ante todo á dar la definición de ellos.

### **Fosforescencia.**

Todo el mundo ha observado el resplandor que despiden en la oscuridad las cabecitas de las cerillas fosfóricas. Es debido

á la oxidación del fósforo que entra en su composición. En recuerdo de este hecho se llaman *fosforescentes* todos los cuerpos que son susceptibles de emitir resplandores visibles en la oscuridad. Pero si el efecto es el mismo, la causa no es siempre idéntica.

Ciertos cuerpos no pueden ser luminosos en la oscuridad más que si previamente han estado sometidos largo tiempo á la acción de la luz. Esta es la fosforescencia ordinaria, tal como la del sulfuro de calcio.

Con cuerpos así es con los que se preparan despertadores cuyas esferas son luminosas durante la noche. En realidad, por medio de su fosforescencia, no hacen otra cosa que restituir de noche la luz que han recibido durante el día.

La duración de la fosforescencia es variable según las diversas sustancias. Algunas permanecen luminosas durante dos días; el diamante, después de algunos minutos de exposición al sol, queda fosfores-



cente para varias horas; la fluorina sólo veinte segundos, el espato un cuarto de segundo. Por procedimientos de medida muy delicados los físicos han llegado á determinar fosforescencias más fugitivas todavía.

Es de notar que precisamente á Edmond Becquerel, padre del que ha descubierto la radiactividad, se debe casi todo lo que se sabe al presente acerca de la fosforescencia y de las particularidades que presenta.

La luz ordinaria está compuesta de una infinidad de colores simples, de los cuales las tintas características son: violeta, indigo, azul, verde, amarillo, naranjado y rojo, y en este orden se colocan en el espectro cuando se descomponen los rayos del sol haciéndoles pasar á través de un prisma.

Se ha demostrado asimismo que son casi exclusivamente los rayos violetas y *ultravioletas* los que desarrollan la fosforescencia.

## **Fluorescencia.**

Muy distinta es la *fluorescencia*. Consiste en una luminosidad especial que toman ciertos cuerpos, como el verde de urano, las soluciones de sulfato de quinina, etc., cuando reciben los rayos violetas y ultravioletas del espectro solar. Pero, á la inversa de los cuerpos fosforescentes, que continúan siendo luminosos aun habiendo cesado de herirles los rayos que los excitan, la luminosidad de los cuerpos fluorescentes se extingue desde el momento que han cesado de obrar sobre ellos los rayos excitadores.

La diferencia esencial entre fluorescencia y fosforescencia es, pues, la duración del fenómeno. La fluorescencia no se efectúa más que en tanto se ejerce la acción de los rayos luminosos y se extingue con ellos, mientras que la fosforescencia persiste después de la extinción de los rayos que la provocan, sobrevive, si así puede decirse, á la causa que la desarrolla.



Ahora bien, estos fenómenos de fosforescencia larga ó breve no son solamente provocados por los rayos luminosos solares; nosotros vamos á ver que pueden ser provocados por la acción de rayos especiales, de origen eléctrico, cuales son los *rayos catódicos* y los *rayos Röntgen*, más conocidos bajo el nombre de *rayos X*.

Recordaremos brevemente en qué condiciones y bajo qué influencias nacen esos diversos rayos.

### **Rayos catódicos.**

Consideremos un vaso de vidrio V, herméticamente cerrado, en el cual se ha hecho el vacío con la mayor perfección posible, extrayendo el aire interior por medio de una bomba aspirante perfecta. El recipiente (fig. 1) está atravesado en dos de sus puntos por dos alambres de platino *a* y *b*, soldados en el espesor mismo del vidrio y terminados en el interior por dos plaquitas del mismo metal, A y C.

Un aparato así construido se llama un *tubo de Crookes*, del nombre del ilustre físico inglés que lo inventó.

Unamos los bornes de platino *a* y *b* á los dos polos de un aparato de electrici-

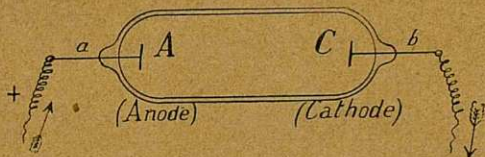


Fig. 1.

EXPLICACIÓN: *Anode*, ánodo; *Cathode*, cátodo.

dad á muy alta tensión, 40 ó 50.000 voltios <sup>(1)</sup>, de manera que la corriente pase en el sentido de las flechas marcadas en la figura.

Si el vacío no es perfecto, un resplandor purpúreo sale de la placa A, que se llama el *ánodo*, y va debilitándose gradualmente hasta la placa C, que se llama el *cátodo*.

<sup>(1)</sup> El *voltio* es la unidad que sirve para medir la tensión eléctrica. Para dar idea de una tensión de 40.000 voltios basta decir que las lámparas de incandescencia funcionan generalmente con una tensión de 110 á 115 voltios. (*N. del A.*)



Esta es la apariencia que se observa en los tubos que se contornean en espiral y en diversas otras formas, como letras, por los que se hacen pasar descargas eléctricas.

Pero si, por el contrario, el vacío es absolutamente perfecto, no quedando en el vaso V más que residuos infinitesimales del gas que le llenaba, todo cambia. La luz purpúrea que aparecía en el anodo A se desvanece hasta desaparecer, en tanto que alrededor del catodo C se desprenden radiaciones invisibles por sí mismas, pero que se logra hacerlas visibles mediante ciertas precauciones. Estos son los rayos catódicos, de los cuales vamos á ver sus curiosas propiedades.

### **Propiedades de los rayos catódicos.**

Los rayos catódicos no son visibles por sí mismos, pero es fácil manifestar su presencia, porque *ellos iluminan los cuerpos fosforescentes*. Basta colocar un cuerpo

fosforescente próximo al catodo para ver cómo se vuelve luminoso en la oscuridad.

En particular, el vidrio mismo de que está formado el tubo adquiere, bajo la acción de los rayos catódicos, un resplandor de reflejos verdosos, característico de la existencia de esos rayos.

Entre las sustancias que los rayos catódicos pueden hacer lucir en la oscuridad citaremos el vidrio, el cristal, el sulfuro de cinc, el sulfuro de calcio, la creta y la fluorina. El diamante se ilumina vivamente bajo su acción y toma una fosforescencia amarillo-verdosa; el rubí emite resplandores rojizos, la creta luce con brillo naranjado, la esmeralda despide reflejos carmesíes. Se ve, por ello, que el color del cuerpo visto á la luz del día no está en relación con el tinte de su fosforescencia.

*Los rayos catódicos se propagan en línea recta.* Se comprueba haciéndoles rozar cartones cubiertos de cuerpos fosforescentes, que se iluminan á su paso. *Son detenidos por los obstáculos sólidos.* Su velocidad de



propagación es de 40.000 kilómetros por segundo. Esto es, unas mil veces la velocidad de los planetas más próximos al sol.

*Los rayos catódicos calientan los cuerpos que los reciben, y hasta tal punto que, cuando su acción se prolonga, puede llevarlos á la incandescencia y aun á la fusión.*

*Los rayos catódicos están cargados de electricidad negativa. Un imán obra sobre ellos y los desvía de su dirección primitiva. Oxidan el aire atmosférico y le ozonizan. En fin, los rayos catódicos son los que dan nacimiento á los rayos X.*

### **Rayos Röntgen ó rayos X.**

Todo el mundo ha visto esas curiosas experiencias que se han repetido en todas partes, incluso en los *music-halls* y en las ferias; experiencias en las que, colocándose en la oscuridad, se pueden ver sobre un cartón fosforescente la imagen completa del esqueleto de la mano. Los rayos que permiten la realización de este

fenómeno fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Röntgen, y se llaman rayos X.

Para producir los rayos X se toma un tubo de Crookes y se hace pasar una corriente eléctrica de 40 á 50.000 voltios. Se producen en el catodo C (fig. 1) rayos catódicos.

Cuando éstos encuentran un obstáculo, le calientan, le hacen fosforescente; pero además le comunican la propiedad inesperada de emitir nuevos rayos, que se propagan en el aire y que son precisamente los rayos X.

Son, pues, los rayos X hijos de los rayos catódicos, de los cuales se derivan directamente.

### **Propiedades de los rayos X.**

Estos rayos se propagan en línea recta; no se reflejan en los espejos; no se desvían ni á través del prisma ni de las lentes; atraviesan todos los cuerpos que encuen-



tran, con más ó menos facilidad, según la naturaleza y el espesor de los obstáculos que se le ofrecen.

Así, ellos atraviesan con la mayor facilidad los tejidos del cuerpo humano, la carne, la piel, todas las materias orgánicas; pero pasan muy difícilmente á través de los cuerpos de naturaleza mineral, como las piedras, las sales metálicas, y más difícilmente todavía los metales.

Además, excitan la fosforescencia é impresionan las placas fotográficas.

De ahí resultan sus aplicaciones médicas y otras.

Se hace funcionar un tubo de Crookes á alguna distancia de un cartón recubierto de una materia fluorescente y se pone la mano de plano entre el cartón y el tubo.

Los rayos X hacen luminosos los puntos del cartón á que llegan libremente. La parte situada bajo la mano no se alumbrá más que por los rayos que han atravesado las carnes y los huesos. La mano aparece menos luminosa que el fondo del

cartón, y como los huesos, materia mineral compuesta de carbonato y fosfato de cal, son atravesados más difícilmente que las carnes, se proyectarán en sombras más acentuadas que el resto de la mano. Ellos se destacarán en negro y se podrá ver si están sanos ó rotos, y en este último caso ver exactamente la posición y forma de la fractura. Si, en fin, un proyectil se ha quedado alojado en el miembro sometido á examen, su masa metálica, impermeable á los rayos X, se dibujará como una mancha negra en medio de la imagen más clara de las carnes.

Este examen se llama el *examen radioscópico*.

Reemplazando el cartón fosforescente por una placa fotográfica, se puede conservar la imagen de la observación precedente, á cuya imagen se da el nombre de *radiográfica*.

Los servicios que el examen radiográfico del cuerpo humano ha prestado á la Medicina son inmensos.



Se creyó que podría ser un eficaz auxiliar de la Administración de Aduanas, permitiendo explorar, sin abrirlos, los paquetes que pasaren ante sus ojos inquisitoriales; pero el fraude es muy fácil: basta forrar el paquete con una hoja de cinc, metal impermeable á los rayos X, para sustraer el contenido de la caja al ojo escrutador del despiadado aduanero.

Añadamos que los rayos X, en ciertos casos, han permitido tratar tumores y parecen haber cauterizado úlceras de apariencia cancerosa. La Medicina ha encontrado en ellos una poderosa ayuda.

En fin, los rayos X tienen propiedades eléctricas: descargan los cuerpos electrizados que se hallan á cierta distancia.

Tales son las propiedades notables de los rayos catódicos y de los rayos X, las cuales se nos manifiestan por el intermedio de los cuerpos fosforescentes.

La energía eléctrica consumida en hacer funcionar el tubo de Crookes se transforma por medio de los rayos catódicos,

de los rayos X y de los cuerpos fosforescentes en energía luminosa.

Pero estos mismos cuerpos fosforescentes representan, independientemente de la electricidad, una transformación de energía, puesto que se les puede excitar valiéndose sólo de la luz violeta. Estas razones indujeron á Mr. Henri Becquerel desde 1896 á hacer un estudio especial de los cuerpos fosforescentes y á investigar si, aparte de los rayos luminosos que ellos emiten en la oscuridad, serian susceptibles de emitir otros rayos que estuvieran dotados de una ó varias propiedades de los rayos X.

He aquí el origen y la causa de las investigaciones que han conducido á Henri Becquerel al descubrimiento de la *radiactividad* de la materia.

---





## CAPÍTULO II

### EL RADIO Y SUS PROPIEDADES

Ahora vamos á dar inmediata satisfacción á la curiosidad de nuestros lectores, diciéndoles lo que es el radio y enumerando sus propiedades principales, que expon-dremos con más detalles en los capítulos que siguen.

El uranio, estudiado por H. Becquerel en 1896, es el tipo de los cuerpos *radi-activos*, es decir, de los cuerpos que parecen emitir *espontánea é indefinidamente* rayos penetrantes, invisibles á nuestros ojos, pero cuya presencia puede manifestarse por la iluminación de un cuerpo fosforescente, como el sulfuro de calcio.

Esos rayos, como los rayos X, atravie-san los cuerpos opacos; pero en tanto que



los rayos descubiertos por el profesor Röntgen toman su energía de una fuente continua de electricidad, los rayos de los cuales H. Becquerel ha descubierto la existencia en el uranio constituyen una radiación en apariencia inagotable y *cuya energía no está tomada de ninguna fuente visible.*

Dos años después del descubrimiento de Becquerel, Mr. Curie y su esposa, estudiando un mineral llamado *pecblenda*, consiguieron aislar un nuevo cuerpo que llamaron el *radio* y que presenta todas las propiedades del uranio, pero con una intensidad mucho más considerable, puesto que la potencia radiante del radio es unas *veces millones de veces* más grande que la del uranio.

Actualmente se puede afirmar sin temor á ser tachado de exageración que el radio es un producto raro. No hay más que *cinco gramos* al estado libre en la extensión del mundo civilizado. Para extraer un gramo es necesario tratar 10.000 kilo-

gramos de mineral. Este tratamiento es largo, muy penoso, y el precio de adquisición de un gramo así obtenido es próximamente *doscientos mil* francos. Así, pues, solamente á los milmillonarios podría ofrecerse un kilogramo, que ascendería á la bonita suma de *¡doscientos millones!* Apresurémonos, de otra parte, á asegurar que aunque se ofrezcan los 200 millones costaría mucho trabajo encontrar el kilogramo pedido. Es preciso, por tanto, contentarse con centigramos ó miligramos de radio, y aun así, á esta dosis farmacéutica no es un producto accesible á todos los bolsillos.

El que se obtiene por el tratamiento de la *peclubenda*, mineral al que antes me he referido y que se encuentra en Austria, no es radio aislado, sino sales de este cuerpo, el cloruro y el bromuro de radio.

*Estas sales son luminosas por sí mismas y las radiaciones que ellas emiten iluminan lo mismo que los rayos X los cuerpos fosforescentes é impresionan una placa foto-*



gráfica *atravesando todos los cuerpos conocidos*. No existen sustancias que sean absolutamente impermeables á los rayos emitidos por el radio; todas se dejan penetrar más ó menos, según su naturaleza ó su espesor. En estas condiciones, la impresión de la placa fotográfica es más ó menos grande, según la mayor ó menor permeabilidad de la pantalla interpuesta.

Una de las propiedades más pasmosas de estas radiaciones nuevas es su indiferencia aparente á las variaciones de la temperatura. No obstante que en la naturaleza todas las propiedades de los cuerpos, su longitud, su volumen, su elasticidad, su flexibilidad, etc., varían según el grado de calor, las radiaciones emitidas por el radio y sólo ellas parecen desafiar los caprichos del termómetro. Sea que se ponga una partícula de radio á la temperatura del agua hirviente, á  $100^{\circ}$  sobre cero, ó que se la someta á la extremadamente baja temperatura de la ebullición del hidrógeno líquido,  $250^{\circ}$  *bajo cero*, su

radiación no varía, y los rayos que ella emite no sólo circulan libremente á través del espesor de los cuerpos opacos, sino que convierten en buenos conductores de la electricidad á todos los cuerpos que hasta el presente se tenían por *aisladores*, tales como la trementina, el petróleo y el aire atmosférico.

No paran ahí las propiedades eléctricas de los rayos del radio. Gozan también de estas otras: en las proximidades de una cierta cantidad de sales rádicas es imposible aislar un aparato eléctrico cualquiera. Como sus parientes los rayos X, ellos no se reflejan en los espejos, ni tampoco se refractan en los prismas, que atraviesan en línea recta. Sólo un imán potente parece ser capaz, no sólo de desviarlos, sino de descomponerlos en tres grupos, distintos los unos de los otros y desigualmente eléctricos.

Lo que hay en el radio que confunde, que desorienta, que trastorna, es la continuidad de su radiación. A lo menos



hasta nueva orden, y desde hace cinco años que se le tiene aislado, parece ser una fuente perpetua, *según se cree espontánea*, de electricidad, que desprende indefinidamente, sin debilitarse.

De igual modo el radio desprende constantemente calor. Un termómetro colocado al lado de un tubo de radio indica siempre una temperatura más alta que la del medio que le rodea.

Como, por otra parte, es sabido que el calor y la electricidad son formas de la energía, resulta de todo lo que precede que el radio, atravesándose ante todos nuestros conceptos adquiridos en física, parece realizar bajo una forma inesperada ese *movimiento perpetuo* que tantos espíritus extraviados han buscado otras veces. Y parecerá que realiza ese movimiento en tanto que no se haya discernido, en el laberinto de sus efectos inexplicables, la causa primera de su energía radiante. A la inversa del tonel de las Danaides, puede ser comparado á un vaso que

permaneciera siempre lleno á pesar de que se hiciera constante consumo del líquido que contuviese; es como la bolsa del Judío errante, que contenía siempre, á perpetuidad, el mismo dinero.

Por extraordinarias que sean las propiedades del radio que acabamos de mencionar las hay todavía más notables. Una sal de radio en disolución comunica temporalmente sus propiedades á todos los cuerpos, cualesquiera que ellos sean, que estén contenidos en el mismo recipiente. Parece como que efectúa una verdadera *emanación* material, análoga á la de los cuerpos que emiten olores. Esta emanación atraviesa los gases y se fija sobre los cuerpos sólidos sin *atravesarlos*, como hacen las radiaciones ordinarias del radio; ella queda detenida por un obstáculo sólido, tal como la pared de un vaso.

Se la puede *destilar*, en cierto modo, como se destila el alcohol, enfriando los vapores en un serpentín refrigerante. Si se recogen estas emanaciones rádicas en



el aire líquido, cuya temperatura es muy baja, se las puede concentrar en un volumen restringido, pero en cuanto se hallan separadas de la sal de que provienen se disipan con bastante rapidez.

Como se ve estas son propiedades absolutamente inexplicables en el estado actual de la ciencia.

En cuanto á los efectos del radio sobre los organismos vivos son, en verdad, sorprendentes. Los primeros experimentadores han sufrido graves quemaduras; se han paralizado animales por su acción, y si algunos médicos han concebido la esperanza de tratar el cáncer por las emanaciones rádicas, no es superfluo anhelar que la más extremada prudencia presida á todas las aplicaciones terapéuticas de este nuevo elemento.

Una conclusión se desprende de todo esto: es la de que el radio marca un cambio brusco en el camino hasta aquí casi recto de la física. Las propiedades de este cuerpo trastornan todas las ideas que nos-

otros considerábamos adquiridas relativamente á la materia y á la fuerza, puesto que viene á producirse un desprendimiento constante y al parecer sin debilitarse de luz, calor, electricidad; es decir, tres formas de la energía, sin contar esa *emanación*, especie de materia imponderable que se puede condensar. Pero á pesar de la radiación, que hasta ahora pareceincesante, el radio no experimenta la más pequeña disminución de peso. La energía gastada por *un gramo* de radio equivale á varios miles de millones de caballos de vapor. ¿De dónde viene esta energía formidable?

Dos explicaciones se presentan al espíritu, y tan hipotética es la una como la otra. Se puede suponer que hay en las moléculas del radio una transformación atómica continua, cuyo mecanismo escapa á nuestro conocimiento y cuya energía es radiante. Se puede, por el contrario, admitir que los fenómenos de radiación observados no son otra cosa que la transformación sensible de una radiación del espacio



radiante que nuestros sentidos no son susceptibles de percibir.

Como quiera que sea, se ve bien que es un nuevo mundo para la ciencia el de esta *radiactividad* de la materia que ha descubierto de una manera tan genial el profesor Henri Becquerel y que el radio de los señores Curie presenta en tan alto grado de intensidad.

Tales son, rápidamente expuestas, las propiedades principales del nuevo cuerpo; todas son extraordinarias é inesperadas.

Ahora que hemos esbozado las grandes líneas del cuadro, vamos á entrar en los detalles y á recordar desde luego por qué serie de deducciones, por qué serie de investigaciones los físicos han llegado á descubrir, en primer lugar, la radiactividad de la materia; en segundo lugar, el cuerpo nuevo que posee esta radiactividad en grado tan potente.

Empezaremos por exponer las investigaciones hechas sobre el uranio por el profesor Becquerel.

## CAPÍTULO III

### LOS DESCUBRIMIENTOS DE HENRI BECQUEREL

---

#### **Radiación espontánea del uranio.**

¿Ha presenciado usted, lector, alguna vez excavaciones arqueológicas? Quizá no, y sin embargo, no hay espectáculo que más impresione.

Guiado, no por el azar, sino por estudios previos, largos y profundos; servido además por un instinto, por un "olfato," especial, el arqueólogo, acompañado de un ejército de obreros provistos de piochas, de picos, indica con el dedo el punto del suelo que trata de explorar.

Bajo sus órdenes los obreros abren una zanja, la profundizan y la ensanchan sin



cesar. Largas varillas de hierro sondean las tierras removidas. Durante largo tiempo las investigaciones son vanas, los esfuerzos son inútiles. El sabio, sin embargo, no desespera.

Sus estudios históricos, los documentos que él ha acumulado, su experiencia, todo en fin, le hace presentir que allí, bajo aquellos terrones, á algunos metros de él, están los restos de una sepultura, de un campamento, de una ciudad desaparecida; que bajo sus pies acaso están los vestigios de toda una civilización extinguida.

De pronto se oye un ruido seco: el pico de un obrero acaba de herir en un cuerpo duro. En seguida un objeto informe se desprende de la masa que le rodea. Nada puede hacer sospechar su naturaleza á los ojos de un profano. Pero el sabio ha tenido una sonrisa de triunfo; él solo ha sentido ya cuál era el hallazgo, y lo coge delicadamente, con mil precauciones; lo desprende de la ganga, y al cabo de pocos instantes un puñal, una copa, una alhaja,

un cráneo humano á veces, pone ante los ojos de los admirados asistentes, demostrando así la exactitud de sus previsiones.

Semejante á ésta debe ser la serie de emociones que experimenta el físico en la investigación de una ley nueva, y sin duda por ansias y gozos análogos ha debido pasar Henri Becquerel cuando, después de largas y pacientes investigaciones, descubrió la radiación espontánea del uranio y de sus sales.

Véase por qué circunstancias el ilustre físico fue encaminado á hacer sus bellos estudios sobre el uranio.

Nosotros hemos dicho en el capítulo primero las condiciones en las cuales se engendran los rayos Röntgen: nacen de los rayos catódicos cuando éstos encuentran un obstáculo.

Al principio no se sabía más.

Sencillamente se había comprobado su presencia por la impresión de la placa fotográfica á través de un cuerpo opaco, por



medio de un *tubo de Crookes* como el representado en la figura 1.

Pero se había observado que el manantial evidente de los rayos X se hallaba en la pared de vidrio de la ampolla, en los puntos en que era herida por los rayos catódicos y se había observado también que esta pared fluorescía vivamente.

Henri Becquerel preguntóse en vista de eso si la emisión de rayos X acompañaría necesariamente al fenómeno de la fluorescencia, cualquiera que fuese la causa de esta última. Becquerel sabía que entre los cuerpos en alto grado fluorescentes figuran las sales de uranio, las cuales son notables, no sólo por su fluorescencia misma, sino por otras propiedades ópticas. De este modo comenzó sus investigaciones por trabajos sobre las sales de uranio.

Valióse en sus primeros experimentos de laminillas de sulfato doble de uranio y de potasio. Tomaba una placa fotográfica que envolvía cuidadosamente en varias hojas de papel negro para preservarla di-

rectamente de los rayos del sol. La placa así envuelta la sacaba á la luz del día, poníala sobre una mesa y encima del papel protector colocaba varios pedacillos de la sal de uranio.

Pasadas cuarenta y ocho horas de exposición, llevaba la placa al cuarto oscuro del laboratorio fotográfico y la revelaba. Se veía entonces que estaba impresionada exactamente en los puntos que se encontraban bajo las laminillas de sal de uranio con las que se había espolvoreado el papel negro que la recubría. El resto de la placa no había recibido ninguna impresión. Por consiguiente, *las sales de uranio habían emitido rayos penetrantes análogos á los rayos X*, y las previsiones de Henri Becquerel se habían realizado por completo,

Mas esto no era sino la primera etapa de su marcha hacia el gran descubrimiento. Él creía que estos penetrantes rayos eran debidos á la fluorescencia provocada por la exposición de la sal de uranio á la luz del día.



Bien pronto observó que *las sales de uranio emiten rayos penetrantes en la oscuridad*, aun después de haber permanecido largo tiempo en un recinto oscuro, sentando como consecuencia la conclusión de que la radiación de estas sales es *espontánea*.

Desde tal momento la duda era imposible: se estaba en presencia de un fenómeno completamente nuevo, de una propiedad nueva é inesperada de la materia. La *radiactividad* había sido, pues, descubierta.

Quedaba, no obstante, una cuestión por solucionar, y Becquerel la resolvió tan pronto como se la hubo planteado. Los rayos penetrantes emitidos por las sales de uranio provenían de sales fluorescentes. ¿Es que la radiactividad observada reconocía por causa la fluorescencia de estas sales ó simplemente el hecho de que ellas eran sales de *uranio*? Dicho de otro modo: la causa de la radiactividad ¿era *física* ó *química*?

Todas las sales de uranio fueron sometidas á la experiencia, y todas emitieron esos mismos rayos, incluso el uranio metálico. La propiedad radiante pertenecía, pues, al *átomo* de uranio; era peculiar á la naturaleza misma de este cuerpo.

Entonces los trabajos de Becquerel fueron otras tantas conquistas. Él reconoció en 1896 y en 1897, una tras otra, las propiedades de que los rayos emitidos por el uranio no sufren ni la reflexión en los espejos ni la refracción por el prisma. Reconoció su carácter capital que permite *dosisficar* la radiación de estos raros productos, cual es que los rayos uránicos descargan á distancia los cuerpos electrizados, y él dio así el método que ha permitido en lo sucesivo determinar la intensidad más ó menos grande de todos los cuerpos *radioactivos* análogos al uranio.

Estos notables experimentos tuvieron en el extranjero gran resonancia. El eminente físico inglés lord Kelvin los repitió con un éxito completo, y otro físico inglés,



cuyo nombre debía llegar á hacerse célebre en esta cuestión de la radiactividad, Mr. Rutherford, se consagró desde entonces á este estudio que habría de conducirle más tarde á un descubrimiento de primer orden.

---

## CAPITULO IV

### DESCUBRIMIENTO DEL RADIO.—LOS TRABAJOS DEL MATRIMONIO CURIE

No era sólo en el extranjero donde el descubrimiento de Henri Becquerel había tenido resonancia.

En Francia (donde es bien difícil á un francés ser profeta) (\*) un fisico, ya conocido por sus admirables trabajos sobre el magnetismo, Pierre Curie, profesor de Física de la Escuela municipal de Física y Química de la calle Lhomond, se dedicó á estudiar el asunto.

Pensó que las propiedades tan genialmente descubiertas por Becquerel en el uranio no debían ser privilegio exclusivo de este metal, y que otros cuerpos de la

(\*) ¡Qué diría el autor si se tratase de España!



Naturaleza debían, sin duda alguna, poseerlas en mayor ó menor grado.

Pierre Curie acababa de casarse con una joven de gran inteligencia y de profunda erudición, la Srta. Sklodowska, polaca de origen y que yo he tenido el gran honor de que fuera algunos meses mi discípula cuando, en 1892, estuve encargado en la Facultad de Ciencias de dar las conferencias preparatorias de la licenciatura de Ciencias físicas, para la cual se preparaba la joven polaca.

El 12 de abril de 1898 la señora de Curie reconoció que las sales de otro metal que el uranio, el *torio*, desprendían también radiaciones penetrantes.

El matrimonio Curie examinó entonces muchos productos, entre los cuales algunos eran radiactivos, los otros no. Pero comprobaron que, sin excepción, todos cuantos presentaban la radiactividad en cualquier grado contenían, bien el uranio, bien el torio.

Entonces fue cuando se produjo el he-

cho capital del que había de surgir el radio.

Los Sres. Curie se apercibieron, en el curso de sus experiencias, de que ciertas muestras de *peblendá* (mineral de uranio que se encuentra en Austria) eran más activas que el mismo uranio metálico, de donde dedujeron que los cuerpos radiactivos no debían quizá su radiactividad sino al hecho de contener partículas de un cuerpo desconocido, pero dotado de una actividad radiante considerable.

Y en seguida decidieron buscar ese cuerpo desconocido y aislarle, si era posible, logrando brillante triunfo en su empeño en diciembre del mismo año 1898.

### **Preparación del radio.**

Antes de ir más lejos, antes de explicar en detalle las propiedades del nuevo cuerpo, digamos rápidamente cómo se le ha llegado á obtener.

El único mineral que da hoy día pro-



ductos radíferos es el mineral de pecblenda, que proviene de la mina de Joachimsthal, en Bohemia. La pecblenda es un mineral de uranio; el uranio se extrae en la misma mina; la sustancia radiactiva se encuentra en los residuos de la preparación del uranio.

El primer tratamiento de estos residuos es una operación gigantesca, para lo cual los Sres. Curie han tenido que dirigirse á la industria privada á causa de lo enorme de las masas que ellos necesitaban emplear en la primera operación.

Sin entrar en detalles que sólo interesarían á los químicos profesionales, me limitaré á decir que para trabajar una tonelada (1.000 kilogramos) de residuos de pecblenda, es necesario poner en juego *cinco toneladas* de productos químicos y *cinuenta mil litros* de agua de lavado.

Ningún laboratorio, dada la magnitud de estas cifras, hubiera podido ofrecer á los dos investigadores los recursos necesarios. Sólo una gran fábrica poseía el local,

el material y la mano de obra indispensables á semejantes manipulaciones. Digamos en honor de la industria francesa que la "Sociedad Central de Productos Químicos", que se ofreció á efectuar estas difíciles operaciones en su fábrica de Javel, ha tenido que hacerlas al precio de costo y sin consentir en obtener ningún beneficio. Hasta el presente ella ha tratado 13 toneladas de residuos de pecblenda, lo que corresponde á la manipulación de *setecientos mil kilogramos* de materias diversas.

Como se ve por las cifras que preceden, la preparación del radio no es asunto fácil. He aquí la marcha general de las operaciones:

Después de lavados prolongados en agua corriente, quedaba una parte insoluble que se trataba por el carbonato de sosa. Se obtenía así un carbonato de radio. Nuevas manipulaciones llevaban las sales al estado de cloruros. Estos últimos, lavados en ácido clorhídrico puro, daban para una tonelada de residuos primitivamente em-



pleados algunos kilogramos de una mezcla de cloruro de bario y cloruro de radio. Se fraccionaban estos pocos kilogramos mecánicamente, hasta la obtención de 250 gramos de un cloruro que venía á ser *mil veces* más activo que el uranio metálico.

Llegado á este punto, la primera parte de la operación estaba concluída. ¡Había costado de tres meses á tres meses y medio!

Y á continuación del trabajo de la fábrica empezaba el del laboratorio. La fábrica había suministrado cloruro de bario *radífero* y se trataba de extraer *cloruro de radio* puro. Se llegó á conseguir, sometiendo la mezcla obtenida á cristalizaciones fraccionadas, tomando como disolventes, primero el agua destilada, después el ácido clorhídrico puro. Se utilizó así la diferencia de solubilidad de los dos cloruros. El cloruro de bario se disuelve, en efecto, más fácilmente que el cloruro de radio.

De este modo se llega á obtener cloruro de radio puro y á poseer un cuerpo cuya

radiactividad es casi dos millones de veces mayor que la del uranio.

Naturalmente, todas las experiencias hechas con el uranio se hacen con el radio con la mayor facilidad.

Así ha sido como desde que estuvieron en posesión del metal que habían descubierto los Sres. Curie, verificaron todos los hechos enunciados dos años antes por Henri Becquerel. Ellos vieron que los rayos del radio podían penetrar los cuerpos opacos, que transportaban electricidad negativa, que descargaban á distancia los cuerpos electrizados, que hacían á los gases circunstantes volverse buenos conductores de la electricidad, que excitaban la luminosidad de los cuerpos fosforescentes.

Pero quedaba una cosa por hacer para confirmar la opinión de los dos sabios: se necesitaba demostrar que el radio era un cuerpo simple *nuevo*. Esta demostración la ha realizado un sabio físico francés, el señor Demarçay, que una muerte prema-



tura ha arrancado á la ciencia. Demarçay se había hecho una especialidad de los estudios espectroscópicos, y los Sres. Curie le remitieron algunas pequeñas porciones de sus cuerpos radíferos. El reconoció por medio de su espectroscopio de chispa rayas desconocidas hasta entonces, y que caracterizaban muy bien un elemento nuevo.

No cabía duda. Se trataba de un cuerpo simple nuevo que agregar á la lista ya larga de los que se conocen hoy día; pero un cuerpo simple que goza de propiedades inesperadas, estupendas, que trastornan todas nuestras ideas sobre la materia y sobre la energía.

Para que esta historia del radio sea completa es necesario añadir que el señor Debierne ha descubierto, por su parte, un nuevo producto radiactivo, al que ha denominado el *actinio*.

---

## CAPITULO V

PROPIEDADES DEL RADIO. — PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS RADIACIONES. — DESPRENDIMIENTO DE CALOR.

Acabamos de ver por qué largas y penosas operaciones se debía pasar para obtener algunas partículas de una sal de radio pura.

Supongamos ahora que poseemos algunos centigramos de semejante cuerpo, estudiémosle y tratemos de arrancarle uno tras otro los secretos físicos de los cuales parece ser el misterioso depositante.

Lo que observamos desde luego es la luminosidad del nuevo producto. Emite, por sí mismo, resplandores en la oscuridad, á la manera de los gusanos luminosos. Sobre este punto insistiremos más adelante.



Observamos también un hecho muy característico. Es inútil tratar de hacer en el recinto donde se encuentra nuestro radio un experimento delicado de electricidad estática: los electroskopios auxiliares, indispensables á todas las operaciones, se descargan instantáneamente bajo la influencia de las emanaciones rádicas.

¿Que se prueba á encerrar el radio en un tubo de plomo á fin de obligar á sus rayos á debilitarse, abriéndose paso á través de las compactas moléculas de un metal tan denso? Como si no. El electroskopo se descarga lo mismo que antes. Es necesario expulsar al culpable, es decir, llevarse al pedazo de radio contenido en su tubo de plomo fuera de la sala, bien lejos del instrumento electrizado, para suprimir su acción. ¿No es esto extraordinario? ¿Y no es esta una primera pero perentoria demostración de las propiedades eléctricas transportadas por los rayos rádicos?

El radio, por su radiación, provoca en muy alto grado la fluorescencia ó la fosfo-

rescencia. Así, los cartones que sirven para la exploración del cuerpo humano por medio de los rayos X (cartones recubiertos de una capa verdosa de platino-cianuro de bario) se tornan luminosos bajo la acción de un pedacito de radio *aunque esté colocado á dos metros*. El vidrio se vuelve fluorescente y acaba por colorearse en pardo ó en violeta; al mismo tiempo su fluorescencia disminuye. Si se calienta el vidrio así alterado, se decolora, y á la vez que se produce la decoloración, el vidrio emite luz. Después de esto el vidrio recobra la propiedad de ser fluorescente en el mismo grado que antes de la transformación.

El *diamante* se pone fosforescente por la acción de los rayos del radio; se puede por este medio, á falta de otros, distinguirle fácilmente de las composiciones con las que se pretende imitarle, las cuales no toman bajo la acción de los rayos rádicos más que una luminosidad muy débil.

Ciertamente que no se esperaba encontrar al radio una aplicación en el dominio



de la joyería. ¡Tan verdad es que los descubrimientos científicos tienen con frecuencia los resultados más inesperados y las más sorprendentes aplicaciones!

Así, pues, el radio vuelve fosforescentes una porción de cuerpos que bajo la excitación de los rayos que él emite se iluminan en la oscuridad. Pero es un axioma de derecho que el legislador no podrá sustraerse á la ley que ha dictado. Los rayos del radio iluminan su propia sustancia, y por esto es por lo que él es luminoso en una cámara oscura. El manifiesta de esta manera por sí mismo la más "brillante," de sus propiedades.

### **Desprendimiento de calor por las sales de radio.**

Llegamos ahora á una de las propiedades del radio que más confusión nos causan: á la que permite entrever en un porvenir más ó menos próximo las más extraordinarias consecuencias, á la que más

trueca los datos sobre los cuales se apoya la ciencia contemporánea; esto es, el desprendimiento de calor por los compuestos radíferos.

*En toda sal de radio se produce un desprendimiento de calor espontáneo y continuo.* Esta

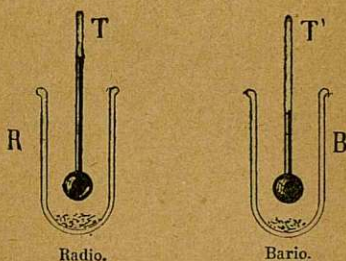


Fig. 2.

emisión de calor tiene por efecto mantener las sales de radio á una temperatura más elevada que la del ambiente. Una experiencia sencilla permite darse cuenta de ello de una manera clara y precisa.

Tomemos dos vasos idénticos, R y B, contruídos de modo que preservan su contenido de la radiación calorífica de los cuerpos circunstantes (fig. 2). En uno de



estos vasos, el R, introduzcamos una pequeña cantidad de radio; en el otro, B, una cantidad igual de un cuerpo inactivo cualquiera, por ejemplo, cloruro de bario. En fin, en cada uno de los recipientes introduzcamos un termómetro, ambos idénticos, T y T', y abandonemos los aparatos á sí mismos.

Al cabo de cierto tiempo podemos comprobar fácilmente y con entera certidumbre que el termómetro T, colocado en el vaso que contiene el radio, indica siempre una temperatura más elevada que el termómetro T', colocado en el vaso donde se ha puesto el cuerpo inactivo, como se indica en la figura.

Este resultado continúa indefinidamente. El radio resulta en todo momento próximamente *tres grados* más caliente que los cuerpos ordinarios *colocados en las mismas condiciones*.

Se puede medir con la debida exactitud la *cantidad de calor* desprendido por el radio. Y permítaseme aquí decir en pocas

palabras la diferencia esencial que hay entre *temperatura* y *cantidad de calor*, cosas que indebidamente se confunden á menudo en el lenguaje familiar.

La *temperatura* de un cuerpo es la indicación de un termómetro colocado en contacto con este cuerpo, en tanto que la *cantidad de calor* es muy diferente, como lo vamos á mostrar con un ejemplo palpable.

Consideremos dos vasos: el uno de capacidad de *un litro*, el otro de capacidad de *cien litros*. Llenemos los dos de agua y hagamos hervir este agua calentando los vasos en hornillas de petróleo.

Cuando el agua hierva en los dos vasos, un termómetro sumergido en cada una de las dos aguas indicará la misma temperatura: cien grados. Y, sin embargo, ha sido necesario suministrar una cantidad de calor cien veces más grande para hacer hervir los cien litros que para hacer hervir el litro único. Se ha gastado cien veces más petróleo en una hornilla que en otra.

Se ve, pues, que es necesario no con-



fundir nunca las palabras *calor* y *temperatura*.

La experiencia que representa la figura 2 muestra que la temperatura del radio es siempre más elevada que la de los

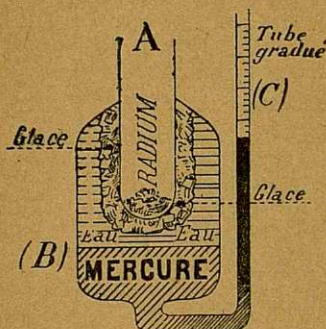


Fig. 3.

EXPLICACIÓN: *Glace*, hielo; *Eau*, agua; *Radium*, radio; *Mercure*, mercurio.  
*Tube gradué*, tubo graduado.

cuerpos circunstantes, pero ella no mide la *cantidad de calor* radiada por el radio.

Para medir esta cantidad de calor el señor Curie ha hecho el experimento siguiente:

Ha dispuesto un aparato formado de dos vasos, A y B, de vidrio (fig. 3). El primero está soldado al segundo y éste se ter-

mina por un tubo graduado C. El vaso B contiene mercurio en su parte inferior y agua por encima; el vaso A está vacío. Este aparato se llama *calorímetro de hielo*, y fue imaginado por Bunsen.

Se comienza por congelar el agua contenida en el vaso B por medio de un aparato frigorífico; después se introduce en el vaso A un fragmento de radio, que se ha pesado cuidadosamente.

Bien pronto se ve al hielo comenzar á fundirse, y, por consecuencia de esta fusión, el mercurio desciende en el tubo graduado. Se sabe, en efecto, que el hielo al fundirse disminuye de volumen; un kilogramo de hielo ocupa mayor volumen que un kilogramo de agua. Precisamente á este hecho es debido que el hielo flote sobre el agua.

Se comprueba que el descenso del mercurio en el tubo graduado es *continuo*, lo que demuestra que el desprendimiento de calor debido al radio es también continuo.

Este experimento mide, por otra parte,



una *cantidad de calor*, porque todo el mundo sabe que para fundir el hielo es necesario gastar calor, sea bajo forma de carbón, sea bajo forma de petróleo, de espíritu de vino ú otra cualquiera.

El desprendimiento continuo de calor por el radio está, pues, materialmente probado. La misma experiencia permite medirlo, puesto que se sabe cuánto calor hace falta para fundir un gramo de hielo. Ahora bien, á una cantidad determinada de calor corresponde una cantidad determinada de trabajo mecánico. Las máquinas motrices de vapor, de gas ó de gasolina no son otra cosa que transformadores del calor en trabajo mecánico.

Se ha podido calcular que, bajo la forma de calor directamente medible, un gramo de radio desprende en el espacio de una hora una cantidad de energía equivalente ¡al trabajo que se gastaría en elevar su propio peso á *treinta y cuatro kilómetros de altura!*

Y eso que no tenemos en cuenta más

que las radiaciones caloríficas. Hay además las radiaciones eléctricas y luminosas, que también representan una cantidad considerable de energía.

Despréndese de lo expuesto que hasta que se haya encontrado la causa de estas radiaciones, el radio parece realizar esa utopía tan frecuentemente soñada otras veces, y aun hoy por gente demasiado imaginativa, el *movimiento continuo*. Pero al presente sabemos que no es posible hacer algo con nada.

Existe, por tanto, una causa á la que se debe la energía radiada sin cesar por el radio. Esta causa no la conocemos todavía, pero en todas partes los sabios se afanan por resolver ese problema. Y no es esa una de las menores aplicaciones del nuevo cuerpo; ¿qué digo? es quizá la más importante: obligar á los investigadores á lanzarse en un camino nuevo. Si no encuentran lo que buscan, de seguro encontrarán algo, y esto será siempre una nueva conquista de la ciencia.



Un gasto de calor tan considerable no puede ser explicado por una reacción química ordinaria, y sobre todo sucediendo que el radio permanece lo mismo durante años. Podría pensarse que el desprendimiento de calor es debido á una transformación del átomo de radio en sí mismo, cuya transformación sería forzosamente muy lenta.

Si fuese así, se habría llegado á la conclusión de que las cantidades de energía puestas en juego por la formación y la transformación de los átomos, es decir, de las partículas primitivas de la materia que constituyen los cuerpos simples, son enormes y rebasan en magnitud todo lo que conocemos hasta ahora.

### **Efectos químicos producidos por el radio.**

Los rayos emitidos por el radio ejercen acciones químicas incontestables sobre los cuerpos que encuentran.

Por ejemplo, el vidrio y la porcelana toman coloración especial. El vidrio se pone bastante á prisa violeta, pardo, amarillo ó gris, según su naturaleza.

Las sales alcalinas como el salitre (nitrato de potasa), primitivamente blancas, pasan á un tinte azul, amarillo ó verde. La sal gema se colora igualmente.

El fósforo blanco pasa al estado de fósforo rojo. El papel se colorea, amarillea, se hace quebradizo y acaba por tomar el aspecto de un colador, acribillado por una muchedumbre de agujeros minúsculos.

El oxígeno del aire se transforma en ozono bajo la influencia del radio, es decir, que se condensa, por así decirlo, adquiere propiedades oxidantes más enérgicas y viene á ser un excelente antiséptico. Se sabe que con el ozono se puede, como lo ha demostrado Mr. Otto, esterilizar las aguas potables y combatir eficazmente las enfermedades epidémicas. ¡Quién sabe si hay en eso, para el porve-



nir, una aplicación especial del radio altamente humanitaria!

Entre sus acciones químicas no se deben olvidar sus efectos sobre las sales de plata. Los rayos ródicos descomponen las sales de plata, y con esto queda dicho que impresionan las placas fotográficas, puesto que ellas están sensibilizadas con bromuro de plata.

Por consiguiente, se podrán hacer *radiografías* con el radio, lo mismo que se hacen con los rayos X. Los cuerpos metálicos y los minerales, menos transparentes que las materias orgánicas, dibujarán su silueta en negro en las pruebas fotográficas obtenidas. También con esto, cuando se logre obtener el radio á precios aborables, se tendrá una aplicación de las más importantes.

En efecto; para hacer una radiografía, por ejemplo, si es preciso buscar el sitio donde se halle un proyectil alojado en un miembro roto, son necesarios todos los pertrechos de los rayos X: batería de acumu-

ladores, tubos de Crookes, transformador poderoso, etc., etc. Con el radio, un grano de sal radiactiva bastaría para llegar á conseguir el mismo resultado. Se ve, pues, que se puede tener con ese fin una aplicación notable.

Hay entre las acciones químicas del radio una muy curiosa. Una disolución de bromuro de radio descompone el agua de una manera continua, y se observa un desprendimiento permanente de gas, el cual está formado por la mezcla de oxígeno é hidrógeno exclusivamente. Si se les recoge, se comprueba que se desprende doble volumen de hidrógeno que de oxígeno en el mismo tiempo.

Sin duda que á estos desprendimientos gaseosos es necesario atribuir los accidentes que se han producido en el curso de las investigaciones de los Sres. Curie. Las ampollas de vidrio que contenían sales de radio han hecho explosión bajo la influencia de un débil calentamiento. Esto es debido probablemente á los desprendimien-



tos continuos de gases producidos por el radio, los cuales se acumulan en los poros del polvo que constituye el cloruro de radio, y si se calienta la ampolla que le contiene, se desprenden de pronto, dando nacimiento á una presión brusca, suficiente para producir el estallido del pequeño recipiente de vidrio. De aquí que haya peligro en conservar mucho tiempo el radio en un tubo cerrado.

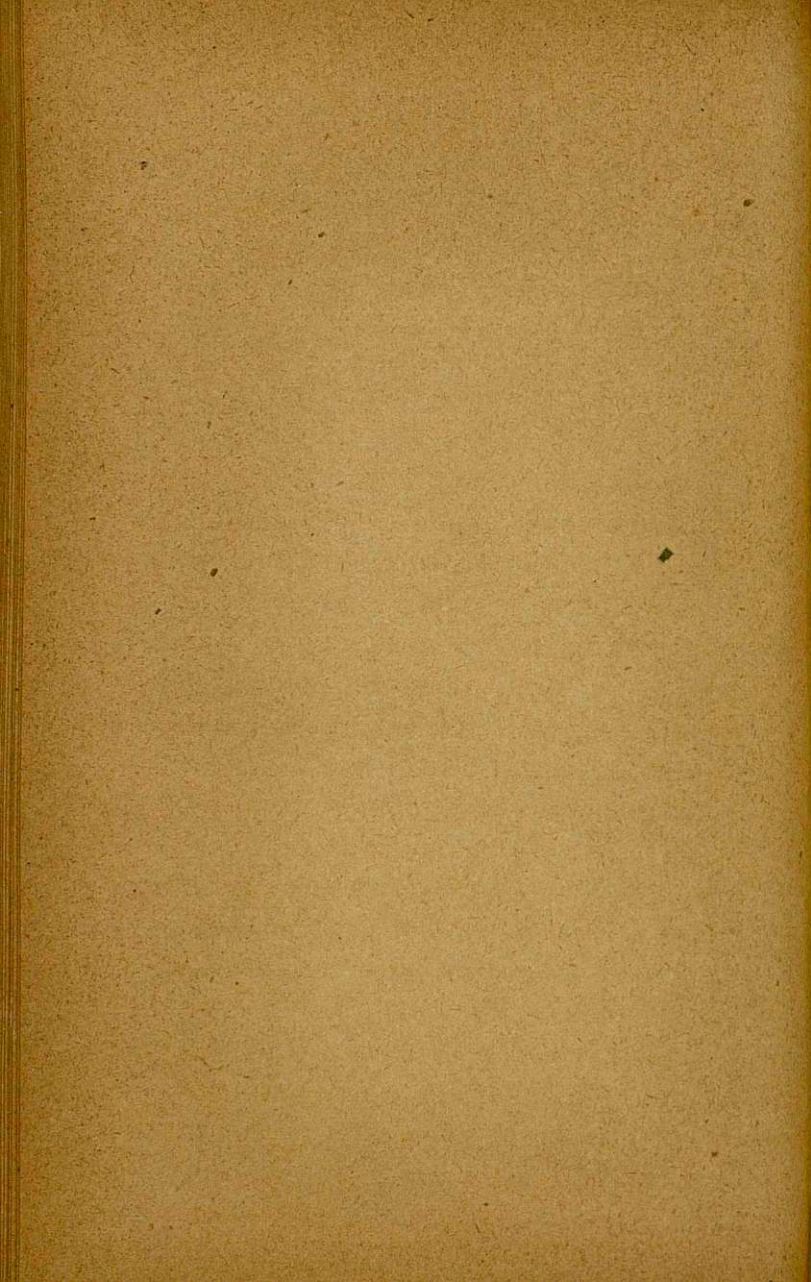
Por último: una de las propiedades más notables del extraño metal que nos ocupa es que su radiación parece insensible á las variaciones de la temperatura, en contra de todo lo que sucede en la Naturaleza.

Es sabido, en efecto, que las variaciones de temperatura modifican todos los fenómenos conocidos: la longitud de una barra metálica varía; su elasticidad cambia; la tensión eléctrica de una pila sigue las variaciones del termómetro; la fuerza atractiva de un imán sufre modificaciones á medida que la temperatura varía.

Para el radio sucede todo lo contrario. Que se le ponga á  $30^{\circ}$  sobre cero ó á la temperatura del aire líquido ( $250^{\circ}$  bajo cero), su radiación permanece la misma. ¡Verdaderamente es esto un misterio más en este cuerpo tan misterioso!

---





## CAPITULO VI

### COMPLEJIDAD DE LAS RADIACIONES DEL RADIO LAS TRES ESPECIES DE RAYOS

Fue en 1899 cuando Becquerel descubrió la complejidad de los rayos del radio. El sabio profesor de la Escuela Politécnica tuvo la idea de estudiar la propagación de los rayos del nuevo cuerpo en la proximidad de un imán poderoso, con objeto de ver si éste ejercía sobre la dirección de los rayos una acción desviante.

Sus esfuerzos fueron coronados por el éxito, y tuvo la satisfacción de descubrir, no sólo que el imán actúa sobre las radiaciones del radio, sino que las *descompone* en tres series de rayos perfectamente distintos los unos de los otros.

Un haz de rayos rádicos contiene tres grupos, que gozan de propiedades diferen-



tes y que han sido designados por las tres primeras letras del alfabeto griego:

1.º Los rayos  $\alpha$  (*alfa*), muy poco desviab-  
les por el imán y cuya desviación, siem-  
pre muy débil, es de sentido inverso á la  
de los rayos de la segunda especie. Estos  
rayos son análogos á los rayos especiales,  
que no son catódicos, que nacen en el tubo  
de Crookes, detrás de un catodo perforado  
con pequeños agujeros, y que son conoci-  
dos por los físicos bajo el nombre de *rayos-  
canales*.

2.º Los rayos  $\beta$  (*beta*), en absoluto aná-  
logos á los rayos catódicos. Estos son los  
que han revelado desde un principio la  
existencia de los rayos ródicos. Experi-  
mentos numerosos y variados permiten  
asegurar que son completamente asimila-  
bles á los rayos catódicos. Son muy poco  
penetrantes y no atraviesan, por decirlo  
así, los cuerpos opacos. Esta es una seme-  
janza más con los rayos catódicos.

3.º Los rayos  $\gamma$  (*gamma*), no desviab-  
les, pero muy penetrantes; en un todo seme-

jantes á los rayos X. Estos rayos  $\gamma$  del radio son los que permiten obtener radiografías por medio de las sales del nuevo metal.

Un grano de cuerpo radiactivo emite, por consecuencia, todas las variedades de radiaciones que nacen en los tubos Crookes bajo las corrientes eléctricas de alta tensión. No quedaba más, una vez esto descubierto, que asegurarse de que los rayos del radio transportan, como los rayos catódicos, electricidad negativa, para que la asimilación fuese completa.

Este descubrimiento lo han realizado los esposos Curie, y desde entonces se puede afirmar que *los rayos del radio transportan electricidad negativa*, lo mismo que los rayos catódicos.

Así, pues, nos encontramos en presencia de una maravilla más. ¡El radio que desprendía ya luz y calor, sin recibir trabajo para así hacerlo, también radia una tercera forma de la energía: la electricidad! La radia espontáneamente y de una manera inagotable.



Estos rayos negativos, análogos á los rayos catódicos, son asemejables á verdaderos pequenísimos proyectiles que se escapan del radio con una velocidad considerable y cuya masa individual sería *mil veces* más pequeña que la de un átomo de hidrógeno, que es el más pequeño de los átomos conocidos.

Se sabe que este último gas se filtra á través de todas las envolturas, haciendo la desesperación de los aeronautas, que no han logrado todavía hallar telas absolutamente impermeables para sus globos. Y se comprende, por tanto, que las partículas emitidas por los rayos rádicos, de masa mil veces más pequeña que la de los átomos de hidrógeno, penetren con más facilidad á través de todos los cuerpos conocidos.

Por inverosímil que parezca lo que vamos á decir, *Mr. Henri Becquerel ha llegado á medir su velocidad* comparando las propiedades eléctricas y magnéticas de los rayos. Y ha encontrado, á pesar de las

dificultades inauditas de tales determinaciones, que se aproxima á la velocidad de la luz; *300.000 kilómetros por segundo.*

### **Experiencias de sir W. Crookes.**

Nosotros acabamos de asemejar las radiaciones rádicas   pequeños proyectiles cargados de electricidad negativa.

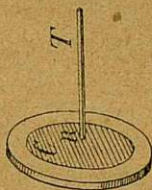


Fig. 4.

Sir W. Crookes, el eminente físico inglés, ha legitimado esta asimilación por una experiencia sorprendente y absolutamente demostrativa.

Sobre un marco circular C (fig. 4) se extiende una hoja de cartulina recubierta de una ligera capa de sulfuro de cinc fosforescente. Muy cerca de este cartón se co-



loca una varilla, T de manera que su extremo se halle á medio milímetro de la superficie fosforescente, y á esta extremidad se fija una partícula R de radio (menos de un miligramo).

Dispuesto así todo, llevemos el aparato á la oscuridad y miremos por medio de una lente la parte de la pantalla vuelta hacia el radio.

Apercibiremos puntos luminosos que aparecen y desaparecen sin cesar, como un hormiguero de chispas instantáneas, como una lluvia de microscópicas estrellas fugaces.

Cada una de esas chispas es debida al choque de los proyectiles emitidos por el radio. ¡Y es con admiración sin límites, con una especie de miedo respetuoso, como se ve esta experiencia, preguntándose uno mismo si por primera vez desde la historia del mundo nos hallamos en presencia del átomo aislado, de la partícula elemental, infinitesimal, esencia de toda materia, punto de aplicación de toda fuerza!

Ahora recordemos nosotros que Becquerel había podido medir la velocidad de esos infinitesimales proyectiles de electricidad negativa que forman ese bombardeo atómico. Dicha velocidad es de 300.000 kilómetros por segundo.

En posesión de esta cifra podemos calcular la energía emitida por la radiación de un compuesto radiactivo.

Haciendo el cálculo se encuentra que, para *un gramo no más de radio*, la energía radiada es de varios *millares de millones de caballos de vapor*.

Si se recuerda (esto lo hemos mencionado antes) que la energía radiada durante una hora bajo forma de calor bastaba á elevar el peso del mismo gramo de radio á 34 kilómetros de altura, y si se reúne á esta energía calorífica la energía eléctrica y la de las otras radiaciones, se puede, ó más bien no se puede imaginar la formidable potencia, al parecer inagotable, que representa un gramo de radio. Bien puede decirse que ese nuevo cuerpo



es una esfinge, un misterio permanente que estamos muy lejos de haber penetrado.

Antes de terminar este capítulo quizá sea interesante para el lector saber por qué medios Mr. Becquerel ha descubierto la complejidad de los rayos del radio.

Este descubrimiento lo ha hecho por la fotografía.

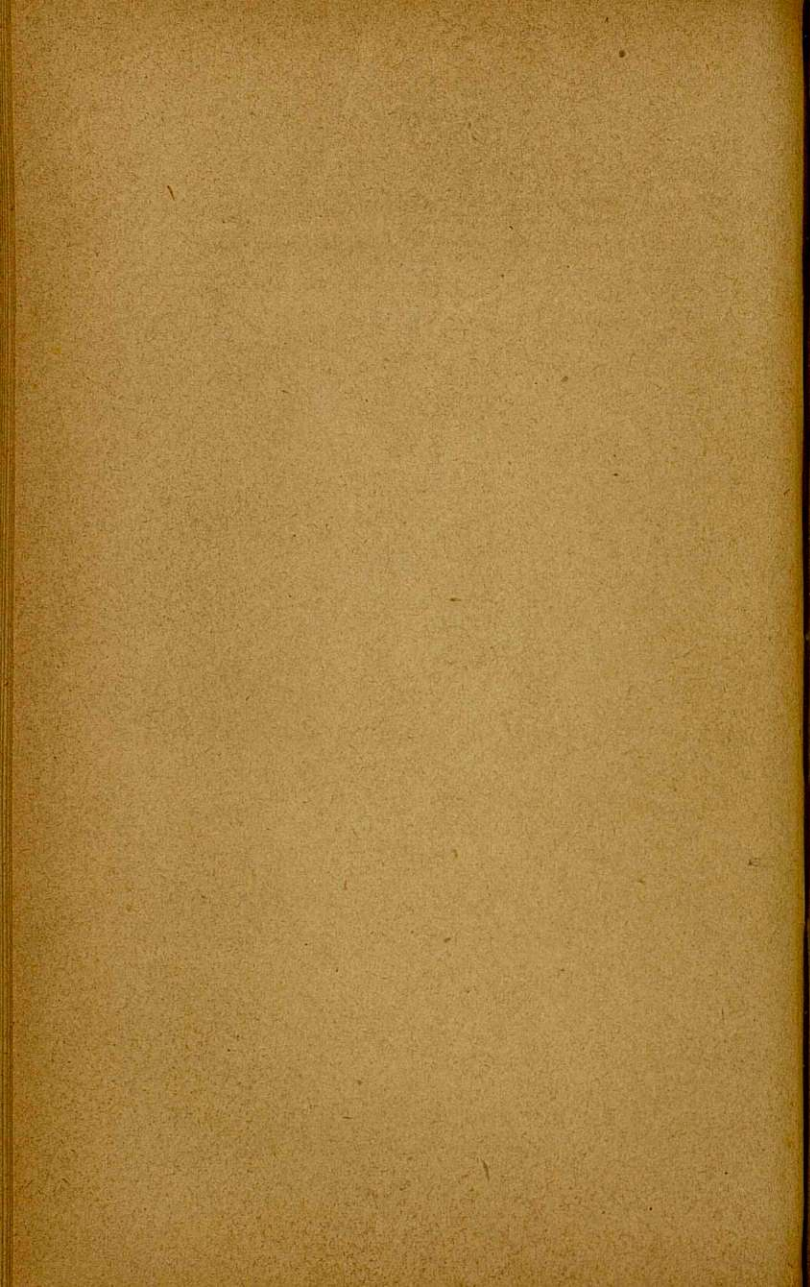
Un haz estrecho de rayos rádicos, limitados por una rendija abierta en un espeso bloque de plomo, se propagaba horizontalmente, rasante con la superficie de una placa fotográfica al gelatinobromuro. Bajo la placa se colocaba el polo de un imán potente, y todo ello se hallaba instalado en un cuarto oscuro.

Pasados algunos minutos en la experiencia, se desarrollaba la placa y se encontraban, examinando los clichés, dos impresiones: la una en línea recta, la otra desviada hacia la derecha; estos son dos de los tres haces que hemos enumerado al principio: los rayos  $\beta$  y los rayos  $\gamma$ .

En resumen, el radio emite tres suertes de radiaciones: rayos desviables por el imán, análogos á los rayos catódicos, y rayos no desviables de dos especies, los unos muy absorbibles, los otros muy penetrantes y análogos á los rayos X.

---





## CAPITULO VII

LA RADIATIVIDAD INDUCIDA Y LA EMANACIÓN.—COMUNICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL RADIO Á LOS CUERPOS QUE SE HALLAN PRÓXIMOS.

Salvo la acción sobre los organismos vivientes, de la cual hablaremos al fin, nosotros hemos expuesto todas las propiedades inherentes al radio y á su radiación directa.

Pero hay una propiedad más admirable que todas las otras, y de la cual vamos á hablar ahora: es la *activación* por el radio de las sustancias colocadas en su proximidad. El radio no es egoísta, no guarda para él solo la potencia misteriosa que posee; la comunica á los cuerpos próximos. Esto es lo que se llama la radiacti-



vidad inducida, fenómeno descubierto en 1899 por los esposos Curie.

Estos sabios han observado, en efecto, que bajo la influencia del radio los otros cuerpos se hacen temporalmente radiactivos. La radiactividad así adquirida desaparece lentamente á partir del momento en que la acción excitante del radio cesa de provocarla.

El Sr. Curie ha hecho de este fenómeno un estudio profundo.

Ha reconocido que la radiactividad inducida se produce con una intensidad considerable en los espacios cerrados, y ha probado con experiencias tan numerosas como demostrativas que el fenómeno así engendrado era el mismo para todas las sustancias y que su intensidad no cambia aunque se haga variar entre límites muy amplios la presión en el recipiente en que se verifica la experiencia.

No hay más que un solo caso en el que la radiactividad no se produce, y es cuando se extraen constantemente, haciendo

el vacío con una máquina neumática, los gases que se desprenden en el vaso donde se hace el experimento.

Las disoluciones de las sales de radio manifiestan el fenómeno con más intensidad que las sales sólidas, y comunican las propiedades rádicas á todos los cuerpos contenidos con ellas en el mismo vaso.

En particular, los líquidos se vuelven así fácilmente radiactivos. Tienen entonces todas las propiedades del radio. Emiten, como éste, los rayos penetrantes que atraviesan las envolventes de vidrio, tornándolas luminosas; y esta actividad inducida se propaga de capa en capa en los gases de un recinto cerrado, aun á través de los tubos capilares y de fisuras imperceptibles.

Si el cuerpo que se activa por influencia es un cuerpo fosforescente, se hace al mismo tiempo luminoso.



## La emanación.

Ya se ha visto. La radiactividad inducida constituye una propiedad notable, cuyo descubrimiento se debe á los esposos Curie. Pero en este orden de cosas hay un descubrimiento más extraordinario todavía, debido al físico inglés Rutherford, que es la *emanación*, curiosa, no sólo por sí misma, sino porque proporciona la explicación de la radiactividad inducida.

¿Qué es, pues, la *emanación*? Vamos á tratar de explicarlo.

Parece ser que se desprende de toda sal de radio en disolución una sustancia desconocida que actúa á la manera de los gases y que es también radiactiva durante un tiempo bastante largo. Esta materia (¿será *materia* como se debe decir?) se difunde á la manera de un vapor extremadamente sutil; pero, *en contra de lo que sucede con los rayos del radio, esta emanación no atraviesa los cuerpos*, permaneciendo confi-

nada en los recipientes que la encierran. La más delgada pared continua la detiene, formando un obstáculo á su difusión.

En cambio *se puede destilar la emanación rádica como se destila un líquido*. Basta para ello condensarla en un recipiente muy pequeño, que se enfría á una temperatura extremadamente baja; por ejemplo, sumergiéndola en aire líquido.

En estas condiciones, la destilación es efectúa concentrándose la emanación en el pequeño espacio frío, como se condensa un vapor en el serpentín del alambique. Y respecto á la disposición del aparato, basta que el vaso enfriado comunique con el recipiente donde se produce la emanación por medio de un orificio sumamente estrecho, como, por ejemplo, por un tubo capilar.

Un sencillo experimento permite demostrar con gran facilidad lo que acabamos de exponer.

En un vaso V, cerrado con la llave R (fig. 5), se coloca una disolución de una sal



de radio. Este vaso comunica por el tubo MN con dos ampollas de vidrio superpuestas A y B, en las cuales se puede hacer el vacío por el tubo T. El vidrio de las dos ampollas A y B se recubre de sulfuro de

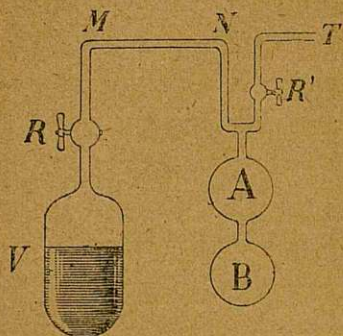


Fig. 5.

cinc, que, en el estado ordinario, no es luminoso en la oscuridad.

Después de haber puesto la disolución radífera en el vaso V, cerremos la llave R y hagamos el vacío en las ampollas A y B, el cual se mantiene cerrando la llave R'. Todo ello se deja en este estado el tiempo suficiente para que la emanación pueda

desprenderse del líquido. Las dos ampollas A y B permanecen en tanto oscuras.

Entonces abramos bruscamente la llave R. La emanación producida en el vaso V es aspirada por el espacio vacío A y B, y las dos ampollas se iluminan al punto.

En seguida sumerjamos la ampolla inferior B en aire líquido á una temperatura inferior á  $220^{\circ}$  bajo cero. Bien pronto la emanación se condensa por completo, abandonando la ampolla A, que se vuelve á poner oscura, al mismo tiempo que la luminosidad de la ampolla B ha aumentado.

Así, pues, la emanación se ha portado como lo hubiera hecho un vapor.

### **Emanación y radiactividad.**

La presencia de la emanación es necesaria para provocar la radiactividad, que la radiación sola es impotente para producir. Toda envolvente sólida que detiene los gases detiene también la emanación y



se opone al fenómeno de la radiactividad inducida.

Al contrario, en un espacio cerrado donde se encuentra un cuerpo radífero susceptible de emitir la emanación, ésta se deposita *sobre todos los cuerpos sin excepción colocados en el mismo recinto* y les vuelve temporalmente radiactivos.

Si en un recipiente cerrado donde se ha confinado la emanación se suprime la presencia del cuerpo radiante que la producía, la emanación persiste, pero *decreciendo de intensidad*. Este decrecimiento es de 50 por 100 en cuatro días si el recipiente queda cerrado, y de 50 por 100 en sólo media hora si se le deja en libre comunicación con el aire exterior.

Añadamos que una sal de radio que ha sido calentada al rojo y enfriada luego posee una actividad menor que antes de haber estado sometida á tan alta temperatura, pero recobra poco á poco su actividad primera.

La sal calentada al rojo ha perdido la

propiedad de producir la radiactividad inducida, pero para devolverle esta propiedad basta disolverla. Ella puede entonces activar de nuevo los cuerpos que la rodean.

Vemos por todo lo anterior que para que un cuerpo emita rayos penetrantes no es necesario que sea él mismo radiactivo. Es suficiente para ello que haya estado encerrado algún tiempo en un vaso que contenga al mismo tiempo una disolución de una sal de radio.

Pero el cuerpo así *activado* no goza de un poder de radiación constante; su poder disminuirá con el tiempo, en tanto que la radiación de los cuerpos radiactivos por sí mismos permanece invariable.

Será necesario, por tanto, en la investigación de los minerales de radio poner la mayor circunspección para no caer en graves errores y tomar como radiactivos cuerpos sencillamente *activados* por un contacto de algunas horas con el radio ó algunos de sus compuestos.





## CAPÍTULO VIII

### ACCIÓN DEL RADIO SOBRE LOS ORGANISMOS VIVIENTES

En presencia de las propiedades extraordinarias del radio y de los cuerpos radiactivos se tenía el derecho de esperar que éstos ejercerían acciones especiales sobre los tejidos vegetales y animales. Y así efectivamente sucede, permitiendo entrever aplicaciones médicas que confunden nuestra razón.

#### **El radio y la visión.**

Desde luego puede decirse que hay una influencia sobre los órganos de la visión extraordinaria y casi milagrosa.

Si se aproxima á los ojos en la oscuri-



dad un fragmento de radio *encerrado en una caja opaca* se tiene la sensación de una viva luz. Todos los líquidos, todas las sustancias que constituyen los ojos se ponen en seguida fosforescentes y provocan la impresión luminosa sobre la retina.

Se ha ensayado el experimento con algunos ciegos de nacimiento y han tenido la sensación luminosa lo mismo que los que gozan de la vista. Quizá se halle en esto la salud para toda una clase de desheredados, para esos infelices privados de la vista, verdaderamente desarmados en la lucha de la existencia. Sería una bella y noble aplicación de la ciencia pura llevar la luz á los ojos de los condenados á tinieblas perpetuas por una enfermedad reputada hasta ahora como incurable.

### **Acción sobre los centros nerviosos.**

Proyectados sobre los centros nerviosos los rayos del radio ocasionan la parálisis y la muerte. La experiencia no se ha

intentado, naturalmente, con seres humanos, sino con los ratones; la radiación rádica obra rápidamente y de una manera mortal sobre los centros nerviosos. La caja craneana parece proteger eficazmente al cerebro contra la acción de los rayos peligrosos.

### **Las quemaduras del radio.**

Los rayos del radio obran enérgicamente sobre la piel. Mr. Becquerel ha sufrido varias veces esta penosa experiencia. Las extremidades de sus dedos, que tanto han manejado los tubos y las cápsulas que contenían productos activos, se le pusieron duras, blancas y muy dolorosas. Esta inflamación le dur  quince días, terminando por la ca da de la piel. En cuanto á la sensibilidad dolorosa, persistió durante más de dos meses. Los Sres. Curie han sufrido también accidentes del mismo género.

Mr. Becquerel ha sido víctima de otra suerte de lesiones.



El 3 ó el 4 de abril de 1901 había llevado sobre sí, en el bolsillo de su chaleco, algunos decigramos de cloruro de bario radifero muy activo (800.000 veces más que el uranio). La materia estaba contenida en un tubo de vidrio sellado, de 20 milímetros de longitud y 4 milímetros de diámetro, envuelto en papel y encerrado en una pequeña caja de cartón.

La radiación del producto era bastante intensa para provocar la fosforescencia del platinocianuro de bario *á través de todo el cuerpo*. El tubito había sido colocado, como hemos dicho, en el bolsillo del chaleco del ilustre físico y llevado durante un tiempo total de seis horas.

El 13 de abril, sin haberse resentido de ningún dolor, Mr. Becquerel se apercibió de que la radiación del radio, pasando á través del tubo de vidrio, de la caja y de sus vestiduras, habíale producido en la piel una mancha roja. Esta se hizo más oscura los días siguientes, dibujando en rojo la forma oblonga del tubo. El 24 de

abril se desprendió la piel y la parte atacada se ahondó, poniéndose á supurar. La llaga fue cuidada durante un mes con linimento óleocalcáreo, como una quemadura ordinaria, y el 22 de mayo, es decir, cuarenta y nueve días después de la acción de los rayos, la llaga se cerró, dejando una cicatriz que marcaba el lugar del tubo. En toda la región atacada, la piel ha sufrido una alteración completa que, *al cabo de dos años y medio*, está todavía muy marcada, figurando una parte más blanca, sembrada de jaspeados rojos.

Entretanto se prestaban cuidados á esta quemadura, se vio aparecer una segunda mancha roja oblonga el 15 de mayo de 1901 en el sitio correspondiente al otro bolsillo del chaleco donde había sido colocada la materia activa. La acción remontábase, no á la misma fecha que más arriba, sino seguramente al 11 de abril, pero había sido de corta duración: una hora á lo más. La inflamación aparecía por consecuencia á los *treinta y cua-*



*tro días después* de la acción excitadora y se desarrollaba tomando en un todo el aspecto de una quemadura superficial. El 26 de mayo la piel comenzó á caerse. Tratada esta quemadura como la primera sanó rápidamente, no dejando en la piel más que una coloración morena y algunos hilillos rojos que subsisten al cabo de dos años.

Esta acción sobre la piel ha inducido á los médicos á intentar la aplicación del radio para el tratamiento del *lupus* y del *cáncer*. Parece que *en ciertos casos* se ha observado alguna mejoría, pero los hechos que nosotros acabamos de relatar demuestran que es necesario conducirse con la mayor prudencia en el manejo del nuevo cuerpo. Si bien cura ciertas afecciones, también puede provocar los accidentes más graves, ya sobre la piel, ya sobre el sistema nervioso, y es necesario no olvidar que la divisa de la Medicina debe ser *primum non nocere*, ante todo no ser perjudicial.

Esto no quiere decir que se deje de trabajar en ese sentido. Eminentes fisiólogos, entre los cuales debe citarse en primer lugar al profesor d'Arsonval, miembro del Instituto de Francia, se han consagrado á este trabajo. Entre tales manos se puede estar seguro de que el radio dará de sí todo lo que puede dar. El eminente académico ensaya en la actualidad el estudio de la acción fisiológica de la *emanación* rádica concentrada al máximo por el enfriamiento en aire líquido. El inyecta en la sangre de los animales líquidos saturados de la emanación. Estas son investigaciones difíciles, llamadas quizá á tener inmensos resultados.

### **El radio y los microbios.**

Se ocurría preguntar cuál era la acción del radio sobre los microbios. Los señores Aschkinass y Caspari han estudiado su efecto sobre las bacterias, encontrando que todas las especies son detenidas en su



desarrollo y algunas, *como el carbunco*, pueden ser matadas en ciertas condiciones. He ahí una aplicación cuya importancia no escapará desapercibida á nadie.

De igual modo es necesario mencionar las experiencias hechas en el Museum, en el laboratorio del Sr. Becquerel, por el señor Matout, sobre la germinación de los granos expuestos á la radiación del radio antes de plantarlos. Los experimentos se han hecho con granos de berro y de mostaza blanca. Los granos, en número igual, eran divididos en dos series colocadas en las mismas condiciones: la una era sometida á los rayos rádicos; la otra no, y servía de testigo.

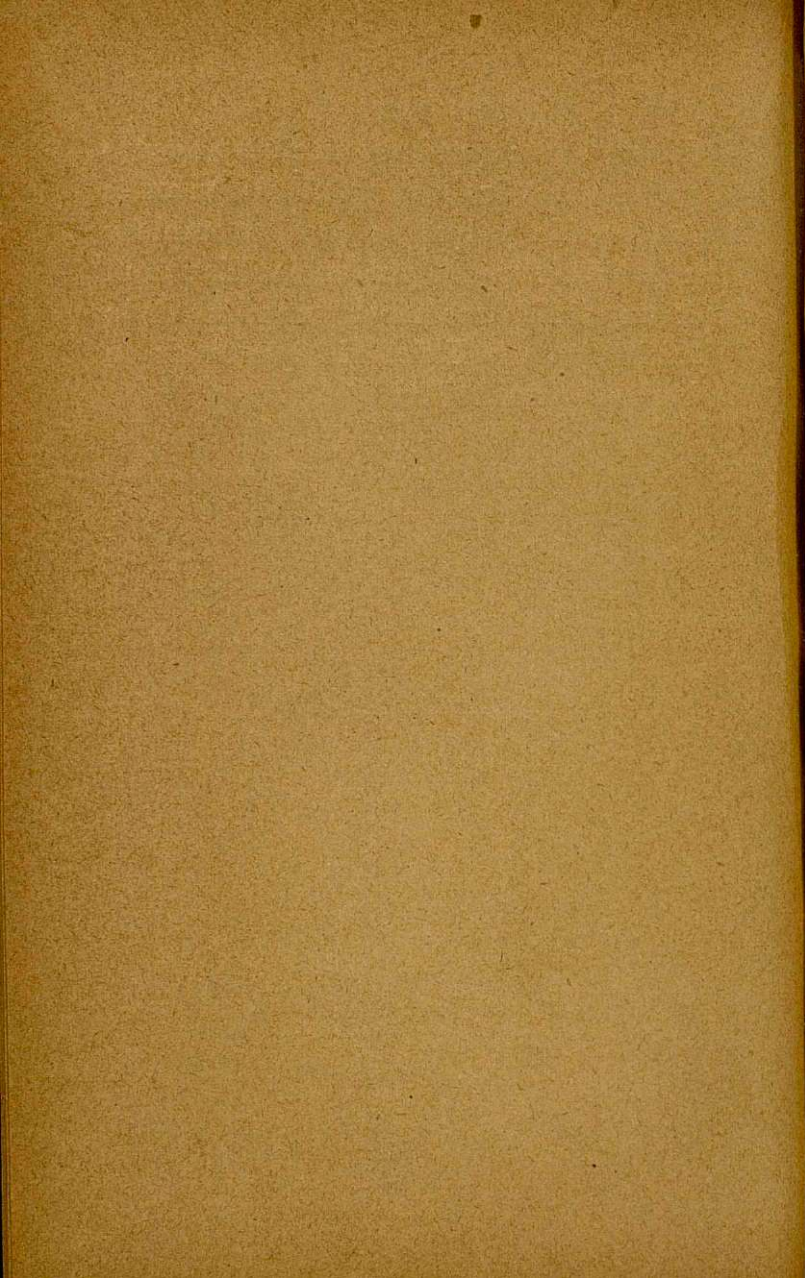
Al cabo de una semana de exposición se comprobaba que *ninguno de los granos expuestos á los rayos rádicos habia podido germinar*, en tanto que los otros granos que no habían sufrido la influencia radiante germinaban en la proporción de 8 por cada 10.

Así, pues, la radiación del radio destruía en los granos la facultad de germinar.

En resumen: poseemos un nuevo agente cuya acción sobre los organismos vivos es incontestable y que es preciso emplear con la más extrema prudencia. Hay aquí todo un estudio que hacer, una rama de la Medicina y de la Fisiología que crear en todas sus partes.

---





## CAPÍTULO IX

### LOS RAYOS N

Este pequeño libro no estaría completo si antes de terminar no consagrarse algunas páginas á una nueva categoría de radiaciones descubiertas hace poco tiempo por Mr. Blondlot, profesor de Física de la Universidad de Nancy.

El sabio físico, estudiando los rayos X, ha encontrado unos rayos que emanaban del tubo de Crookes y que *no eran rayos Röntgen*. Los rayos X, en efecto, no se refractan, no son desviados por el prisma, en tanto que los nuevos rayos (que el señor Blondlot llama *rayos N* en homenaje á la población de Nancy) son susceptibles de concentrarse en el foco de una lente de aluminio.



Estos rayos atraviesan tablas de roble de varios centímetros de espesor y placas de aluminio de tres centímetros de grueso; pero son detenidos por el agua, el papel mojado, el plomo y el platino.

Se pone su existencia de manifiesto por la acción que ejercen sobre una fuente luminosa débil, cuyo brillo aumentan. Por ejemplo, una chispa eléctrica ó una minúscula llama de gas.

¿Dónde nacen estos rayos N?

Desde luego en el tubo de Crookes, donde Mr. Blondlot los ha descubierto, pero se les encuentra igualmente en la luz del mechero Auer y en la luz solar. Todos los cuerpos expuestos largo tiempo al sol los desprenden un poco. Un ladrillo recogido en la calle emite rayos N.

Todos los cuerpos comprimidos son fuentes de ellos. La madera y el vidrio durante su compresión los emiten regularmente. El acero templado, cuya materia ha sufrido por el temple una especie de *encogimiento*, es una fuente de rayos N.

Los rayos N ejercen sobre los ojos una acción curiosa. Aumentan la agudeza de la vista.

Citemos algún hecho:

En una habitación donde se encuentre un reloj de esfera blanca, si se disminuye gradualmente la luz, llega un momento en que no se apercibe más que la esfera bajo forma de mancha blanca, sin que se puedan distinguir las cifras que marcan las horas. Pues bien, si entonces se aproxima á los ojos una lima de acero templado, manantial de rayos N, se vuelve á empezar á distinguir la cifra y las agujas. Unicamente, y esto es importante, el fenómeno se produce progresivamente y al cabo de algunos segundos.

Es necesario además tener cuidado de no hacer ningún esfuerzo para observar: se debe mirar naturalmente, sin que la vista se fatigue; de lo contrario, se cree ver variaciones de brillo allí donde no las hay, y se obtiene un resultado negativo. La observación de estos fenómenos parece



muy delicada y exige una vista ejercitada y sensible.

Los rayos N, detenidos por el agua pura, atraviesan no obstante el agua salada, que los almacena. Es esta quizá una de sus grandes aplicaciones en la Naturaleza, puesto que el agua salada de los Océanos cubre las tres cuartas partes de la tierra.

Los rayos N iluminan el sulfuro de calcio fosforescente. Este es un medio sencillo de manifestar su presencia.

Se pegan algunos granos de fosfuro de calcio sobre un cartón negro y se coloca en la oscuridad. Si se aproxima al cartón un cuerpo que desprenda rayos N, el brillo del fosfuro aumenta rápidamente. Asimismo basta *silbar* en tono agudo para aumentar el brillo del polvo fosforescente. La compresión que el aire sufre por efecto de la vibración sonora basta á la producción local de los rayos N. Este experimento pone de relieve cuán delicada es la observación de los rayos N. Es indispensable en todas estas investigaciones

no hablar alto, so pena de perturbar los resultados.

### **Los rayos N y el cuerpo humano.**

Llegamos ahora á una manifestación en verdad estupenda de los rayos N. Me refiero á su presencia en el cuerpo humano.

Tomemos un cartón recubierto de fosforo de calcio y excitemos la luminosidad de este cuerpo fosforescente por medio de una partícula de radio colocada á alguna distancia. Después pongamos la mano abierta naturalmente hacia el cartón. Cerraremos luego el puño de modo que se produzca una contracción, un esfuerzo de la mano. Por consecuencia de este esfuerzo los nervios emiten rayos N, según su trayecto, y la luminosidad de la placa fosforescente aumenta, resultando los trayectos de los nervios iluminados en trazos más brillantes què el fondo.

Estos experimentos, debidos al doctor Charpentier, de Nancy, han excitado en



el más alto grado la curiosidad y el interés del mundo sabio. Apenas fueron anunciados, Mr. Mascart, ilustre presidente de la Academia de Ciencias, fue á Nancy y ha comprobado la exactitud de los resultados que habían comunicado los señores Blondlot y Charpentier.

Siempre, insistimos en ello, estas experiencias son extremadamente delicadas y la claridad de sus manifestaciones está lejos de ser comparable á la de los fenómenos de la radiactividad.

He ahí también una mina inagotable abierta á la actividad de los investigadores. Como se ve, nuestros sabios trabajan sin descanso, y nosotros podemos verdaderamente estar orgullosos de hallar á los franceses á la cabeza de este movimiento de renovación científica. La ciencia del siglo xx se anuncia bien.

---

## CAPÍTULO X

### ORIGEN DE LA ENERGÍA DEL RADIO APLICACIONES DEL RADIO

Hemos expuesto en los capítulos precedentes la historia del radio, manteniéndonos en el dominio exclusivo de los hechos observados, de los resultados *brutos* (digámoslo así) de la experiencia, sin dejarnos entretener por digresiones teóricas.

Pero ahora que hemos visto las perturbadoras propiedades del nuevo cuerpo, ahora que hemos expuesto las manifestaciones inesperadas de su energía, que parece inagotable, nosotros podemos y debemos preguntarnos si hay alguna explicación posible que dar de esas enigmáticas manifestaciones.

Dos hipótesis principales pueden ser propuestas para ello.



En la primera se imagina, como la señora de Curie, “que todo el espacio está constantemente atravesado por rayos análogos á los rayos X, pero mucho más penetrantes y no pueden ser absorbidos más que por ciertos elementos como el uranio, el torio, el radio, cuyos *pesos atómicos* son considerables (el del radio es 225). La energía sería así tomada de una radiación cósmica ó solar y los cuerpos activos la transformarían, absolutamente como el vidrio transforma los rayos catódicos en rayos X,,.

La otra hipótesis consiste en admitir que es en el átomo mismo donde se asienta esa producción de energía. El origen de la energía radiante sería una destrucción molecular de la materia misma; y esa destrucción, que podría poner en juego grandes cantidades de energía, tendría efecto, ya espontáneamente, en virtud de una propiedad física nueva, ya bajo la influencia de una intervención exterior.

El fenómeno vendría á ser una especie

de evaporación ó de pulverización, comparable á la producción de los olores que ciertos cuerpos emiten sin que se pueda, aun al cabo de un tiempo bastante largo, comprobar una disminución sensible de su peso, y la *emanación* sería comparable á un gas transportando un olor.

En esta última hipótesis se tendría algo análogo á lo que sucede en ciertas combinaciones químicas que exigen para formarse una cantidad de calor considerable y que la desprenden al descomponerse.

El átomo de los cuerpos radiactivos no sería, por tanto, invariable, y nos veríamos obligados á admitir que se destruye por una suerte de explosión. Los residuos serían en parte de la materia inerte, en parte de las partículas extratenues que constituirían las diversas especies de radiaciones.

La hipótesis de la destrucción permanente del átomo se presenta, pues, naturalmente para justificar la emisión de las materias corpusculares.



Como quiera que sea, es interesante recordar aquí una hipótesis inversa imaginada por Mr. Filippo Re y presentada á la Academia de Ciencias el 8 de junio de 1903.

El autor de esta hipótesis asemeja los átomos materiales á pequeños sistemas planetarios. Ellos no serían otra cosa que agrupaciones cuyos elementos obedecen á las leyes de la gravitación universal, las cuales rigen los movimientos y la posición de los astros en el cielo. El comprueba que la energía que ha sido necesario gastar en el origen para constituir estos agrupamientos ha debido ser enorme, si se juzga por la imposibilidad en que nos encontramos de destruirlos. En estas condiciones, los átomos de materia inerte, como el cobre, el plomo, la plata, el cinc... serían soles extinguidos, en tanto que los átomos radiactivos, radio, torio, uranio, serían, por el contrario, soles en plena actividad, experimentando una condensación progresiva, la cual desprendería así la ener-

gía observada en la radiación de esos nuevos cuerpos.

Esta concepción es grandiosa y muy bella, y además presenta el interés magno que va unido á las tentativas que el espíritu humano puede y debe hacer para llevar á una ley única al átomo, mundo infinitamente pequeño, y al universo, mundo infinitamente grande.



Y ahora bosquejemos, para terminar, cuáles son las aplicaciones posibles del radio y de los cuerpos radiactivos.

Siéntese verdadero deslumbramiento cuando se ven las cifras que traducen la enorme radiación de estos cuerpos; de primera impresión se entrevé toda una serie de automóviles, de ferrocarriles, de trasatlánticos lanzados á través del mundo con velocidad fulminante, animados como lo serían por la formidable energía desprendida por el radio.



Pero, sin embargo, todavía no podemos llegar á eso. En primer lugar, el precio extremadamente elevado del maravilloso cuerpo se opone á toda aplicación industrial; después, su radiación se efectúa lentamente: testigos son las quemaduras que ocasiona y que no aparecen sino largo tiempo después. De manera que, por ahora, está bien lejos de poder reemplazar á nuestros combustibles industriales ó á la potencia de nuestros saltos de agua.

Pero sus aplicaciones científicas son considerables. Desde luego, sus aplicaciones al estudio de los fenómenos de la visión, quizá á la cura de ciertas enfermedades ó á la destrucción de microbios peligrosos, les asignan un lugar de primer orden entre los descubrimientos recientes.

La importancia general del radio reside en que va á orientar la física en una vía enteramente nueva.

Va á ser necesario revisar las leyes conocidas, buscar otras, y quizá así se va á llegar al descubrimiento de fuerzas físicas

no sospechadas. En todo caso, los sabios seguirán encontrando nuevos fenómenos; y es sabido que cada vez que la ciencia pura da un paso adelante las aplicaciones la siguen de cerca, y el bienestar de la humanidad se aumenta al mismo tiempo. La historia del siglo último es prueba fehaciente de lo que acabo de enunciar, con su vapor, sus ferrocarriles, su electricidad.

Tengamos confianza. El derrotero de la ciencia, tan recto hasta aquí, se ve obligado á tórcer bruscamente su dirección. ¿Dónde nos llevará este giro? Nada sabemos de seguro, pero conduce á regiones inexploradas en las que todo lo tenemos por conquistar.

Y cada conquista nueva de la ciencia de mañana en esas ignotas regiones aumentará la deuda de gratitud que hemos contraído con los sabios franceses que se llaman Becquerel y Curie.

---





## CAPÍTULO XI

### BREVES CONSIDERACIONES DEL TRADUCTOR

Hemos procurado ser en la traducción de este librito escrupulosamente fieles al texto original. Creemos que este respeto se debe siempre al autor de una obra, como quiera que ella sea. Mas no obstante esto, y haber elegido para transcribirlo á nuestro idioma, entre los varios estudios sobre el radio, el presente, por hallarle muy completo y accesible, por su acertado carácter de vulgarización científica, al mayor número de lectores, no podemos menos de consignar nuestra profunda disconformidad con la manera de tratar ciertas cuestiones, de que adolece el autor, sea por exceso de imaginación propia ó con intento poco meditado de ex-



citar la de los lectores, guiándolos hacia lo extraordinario y estupendo, tocando casi los límites de lo sobrenatural.

En ninguna obra científica, y menos si tiene como fin la difusión del saber, puede admitirse esa tendencia á lo fantástico, que propende á crear erróneos conceptos en el entendimiento de la mayoría de los lectores, poco preparados en conocimientos especiales para discernir con seguro criterio la ciencia sana de los devaneos imaginativos.

He aquí las razones que nos han inducido á agregar á la interesante obrita de Berget este capítulo, en el que puntualizaremos algunos hechos y formularemos algunas consideraciones teóricas.

Dice el autor en el prólogo, al exponer el asunto que ha de ser el objeto de las páginas siguientes:

“Consiste ello, esencialmente, en que ciertos cuerpos pueden emitir, durante un tiempo casi indefinido, calor, luz, electricidad, *sin recibirlo de fuera*, sin disminuir

de peso y sin que su poder radiante se debilite,,.

Y luego en diferentes pasajes de la obra insiste en la misma idea que expresa la frase que hemos subrayado, llegando á decir que la radiactividad está en contradicción con las leyes fundamentales en que se asienta la física, las cuales nos veremos obligados á rectificar.

No es Berget solo; otros físicos se dejan arrastrar por el mismo criterio, sentando las mismas afirmaciones, fundadas... ¿en qué creerá el lector? ¿en las apariencias!

Si cualquiera de nosotros, ignorante de la ciencia física, pero observador de talento, viendo que una piedra, un pedazo de madera, etc., abandonados en el espacio caen, que el humo y otros gases ascienden, que las nubes no caen ni se elevan, y queriendo formular sus observaciones en una ley, dijera: hay cuerpos que tienen la propiedad de ser atraídos por la tierra, otros de ser repelidos y otros no son ni atraídos ni repelidos, de seguro que Berget



y esos físicos se reirían de nuestro cándido error y nos dirían que todos los cuerpos cumplen la misma ley de gravitar hacia la tierra, y que lo que nos había parecido repulsión ó indiferencia es ni más ni menos que una apariencia engendrada por esa misma gravitación, combinada con la presencia del medio ambiente, de la atmósfera, también sometida á ella.

Afirmar, sin una demostración concluyente, que los cuerpos radiactivos, en particular el radio, emiten, *espontánea é indefinidamente, sin recibirlo de fuera*, calor, luz, electricidad y otras formas de la energía. viniendo á ser la negación de la gran ley de conservación de la energía, es lo mismo que decir que el Sol corre en torno de la Tierra porque así lo ve y le parece á un observador ignorante; es, en fin, volver á la ciencia medioeval.

Las industrias técnicas, que son la piedra de toque de las verdades adquiridas en las ciencias físicas, han llegado á realizar los portentos con que se engrandece

la civilización moderna, apoyándose en esas leyes que ya parecen derrumbadas á varios espíritus ligeros.

Recuerden nuestros lectores las tres hipótesis expuestas en el capítulo anterior para explicar el origen de la energía del radio. En ninguna se apunta siquiera la posibilidad del incumplimiento de una ley física fundamental. Y lo mismo que en ésta en otras explicaciones que se han intentado de las propiedades del radio, de las cuales podemos citar la que supone que el radio es un cuerpo catalizador, semejante en su modo de obrar á la esponja de platino, capaz de provocar acciones y transformaciones en las materias en contacto con él ó próximas.

Mr. Ernesto Solvay, coincidiendo con nuestro modo de ver, critica esa tendencia á negar las verdades adquiridas de la ciencia actual, sin más razones que las apariencias de un fenómeno nuevo para nosotros.

A continuación transcribimos los prin-



cipales párrafos de su interesante comunicación á la *Academie des Sciences*:

“Muchos espíritus científicos se afligen de ver que, á propósito del radio, que parece emitir indefinidamente energía, manteniéndose á una temperatura superior á la del medio, notables sabios llegan á considerar el abandono de los grandes principios físicos que han servido para constituir la ciencia moderna, y á admitir que la energía pueda espontáneamente producirse en el seno de una misma sustancia, en el mismo sitio del espacio y á emitirse indefinidamente, sin que en ello intervengan las sustancias ó las energías exteriores y pareciendo que la causa originaria se reproduce á sí misma perpetuamente.

„Si se me permitiera, en esta circunstancia particular y crítica, hablar en nombre de los primeros, yo diría que antes de mirar las cosas por un lado un tanto misterioso parece lógico tomarlas de una manera más sencilla, y yo propondría la explicación siguiente:

„La energía que nosotros no producimos por nosotros mismos, por medios físicos ó mecánicos, entre los cuales están los seres vivientes, provendría, por decirlo así, exclusivamente del Sol, como siempre se ha admitido.

„Ella estaría compuesta de una infinidad de rayos energéticos diversos, que comprenderían los que se encuentran en las radiaciones de los cuerpos fosforescentes y radiactivos; lo que parece, de otra parte, comprobado.

„Estos rayos diversos encontrarían cada uno, entre los diferentes cuerpos que constituyen nuestros medios, moléculas esparcidas, aptas para potencializarlos, *tales como ellos son*; es decir, aptas para recibirlos y fijarlos temporal y específicamente bajo forma de energía latente, cualquiera que sea, por lo demás, el mecanismo de esta potencialización específica que ahora no importa. El principio en su causa sería que *la receptividad de un cuerpo para la energía* (como su transparencia ó su opacidad)



*variaría con su naturaleza y con su estado físico-molecular, y también con la naturaleza y con el estado físico-molecular del cuerpo que emite la energía.*

„Pero existirían cuerpos que contendrían moléculas, ó estarían enteramente constituidos por moléculas, que tendrían una receptividad más grande aún para esos diversos rayos energéticos que las moléculas esparcidas de que acabamos de hablar. Tales son los cuerpos fosforescentes para ciertas radiaciones y los cuerpos radiactivos para otras. Y estos cuerpos introducidos en medios cualesquiera los despotencializarían en su beneficio, atrayendo hacia sí su energía especial y concentrando ésta en el espacio, relativamente restringido, que presenta su volumen.

„Entonces nuestros ojos, que en las condiciones ordinarias no pueden percibir esas energías esparcidas, podrían percibir las desde que ellas estuvieran concentradas en un cuerpo, y éste nos parecería luminoso„.

Para considerar los fenómenos en su esencia y en su totalidad no puede prescindirse de la influencia del medio en el cual se efectúan. Todos esos que ven en el radio una especie de cruenta piqueta demoledora de la ciencia actual deberían, para que pudiesen estimarse razonables sus afirmaciones, experimentar sobre las propiedades del radio, *sustrayéndole previamente y á perpetuidad de toda relación directa ó indirecta con las demás materias del universo en todos los estados en que se encuentran*. Y esto, ¿podrán hacerlo jamás?

La emanación, causa de la radiactividad inducida, parece que ha servido de pretexto para poner en duda otra gran ley de la naturaleza: la ley de conservación de la materia.

Los datos que el autor aporta respecto de la emanación son incompletos. Se sabe algo más, y se ha relacionado el fenómeno á que me refiero con la formación del ozono por la radiación del radio y con las propiedades radiactivas de ese gas.



Mr. Villard ha descrito en la *Société Française de Physique* curiosas experiencias sobre las propiedades de los cuerpos tratados por el ozono, acerca de las cuales tomamos de la *Revue Générale des Sciences* los siguientes párrafos:

“El oxígeno ozonizado, preparado por el método ordinario, casi no ejerce acción sobre las placas fotográficas al gelatino-bromuro de plata. Pero poniendo sobre la placa sensible, ó á algunos milímetros de ella, un cuerpo capaz de destruir el ozono (papel, caucho, etc.), se obtiene una acción intensa. Una moneda da así, por contacto, una efígie muy marcada.

„No es necesario que el objeto activo se halle en presencia de la placa sensible durante la ozonización. La propiedad de impresionar la sal de plata persiste más de veinticuatro horas después que el ozono ha cesado de obrar. Se obtienen resultados análogos con sustancias inorgánicas; por ejemplo, metales previamente sometidos al calor rojo. Algunos de ellos ad-

quieren, bajo la influencia del ozono, una actividad bastante grande, que persiste durante más de un día. El bismuto está en este caso, pero los resultados son muy irregulares y parecen atribuibles á un cuerpo extraño. El aluminio da resultados bastante constantes; su impresión fotográfica no es uniforme: se compone de un semillero de puntos negros sobre fondo grisáceo. El aluminio siliciado se muestra extremadamente activo, sin que haya de estimarse cierto que el hecho se deba al silicio.

„La acción ejercida sobre una placa sensible tiene efecto á una distancia de varios milímetros. Parece asimismo que la emanación ó la radiación emitida es susceptible de atravesar una hoja muy delgada de aluminio laminado. El hecho ha sido observado una vez con el aluminio siliciado muy activo. No es todavía posible, sobre todo con la ausencia de fenómenos de orden eléctrico, enlazar estos hechos por una hipótesis. Pero se advierte la posibilidad de poder explicar sencilla-



mente un gran número de observaciones muy diversas; en particular, las propiedades de los papeles insolados entrarían en esta categoría. Ya Thenard atribuyó la actividad del papel así tratado á la acción del ozono„.

No son éstas las únicas semejanzas de la acción del ozono con la radiactividad, ni las únicas propiedades que en este orden de fenómenos presenta. El ozono produce *iones* gaseosos.

Diremos, por si algunos de nuestros lectores no lo recuerdan, que los *iones* son átomos ó moléculas libres de los cuerpos en un estado especial de electrización.

Las propiedades eléctricas de la radiactividad se explican satisfactoriamente admitiendo que la energía emitida por el cuerpo radiactivo ioniza los gases del medio; de ahí la aparente conductibilidad que éstos adquieren, y la descarga de los cuerpos electrizados próximos, la cual puede además explicarse por la despoteñalización de que habla E. Solvay.

E. Van Aubel ha demostrado que las sustancias ozonizadas aumentan la conductibilidad eléctrica del selenio. Y por su parte, los Sres. Richarz y Schenck han probado que las otras propiedades de las sustancias radiactivas, en particular la excitación de la luminiscencia, se encuentran en el ozono. Este se descompone con un gran desprendimiento de calor, de la misma manera que las sales de radio emiten continuamente calor (acaso con desagregación de la sal). Y la única diferencia estriba en que el peso atómico del ozono es mucho menor que el de las sustancias radiactivas. Según Richarz y Schenck, el ozono es una sustancia esencialmente radiactiva.

Si nuestros lectores recuerdan lo que se decía en el capítulo de la emanación, y comparan con las propiedades que por su radiactividad y como tal gas tiene el ozono, hallarán muy razonable la opinión sustentada por el mismo Schenck, de que la emanación del radio no es otra cosa



que el ozono. Todas estas semejanzas del ozono con el radio, y el hecho observado por los Sres. Ramsay y Soddy de la producción del helio, nos hacen pensar en que así como el ozono es un estado de condensación del oxígeno, el radio sea una condensación especial y mucho más intensa del helio, y que la hipótesis que supone al radio como un elemento químico en vías de evolución, quizá transmutándose en otros elementos, no va muy descaminada.

Por todo lo que llevamos dicho, nuestros lectores pueden observar cómo, á medida que se acopian datos y se analizan y clasifican propiedades y fenómenos, el radio resulta menos fantástico y misterioso.

Misteriosas, sí, acaso lo serán siempre sus propiedades. Pero, ¿es que son menos misteriosos los demás fenómenos de la Naturaleza? El fenómeno de la dispersión, por ejemplo, en virtud del cual la luz blanca, al pasar á través de un prisma, se abre en maravilloso abanico de colores, ¿negará algún físico que es tan misterioso

y más bello, infinitamente más bello, que todas las propiedades del radio?

No hay, pues, que abandonarse á neuróticos vuelos de la imaginación por que la ciencia descubra alguna de esas novedades. En ellas no hallaremos nada de extraordinario ni supracientífico que no podamos encontrar en otro cualquier fenómeno de los que nos son harto familiares. La diferencia estriba en que aquél nos impresiona vivamente por la novedad, en tanto que sobre éstos resbala distraída nuestra atención por la rutinaria indiferencia con que nuestro imperfecto espíritu humano se enmohece por la costumbre de los hechos. ¡Si algún día la ciencia descubriese el misterio que se oculta en el fondo de cualquier fenómeno de los más triviales!

No hallamos, en fin, razón alguna que nos haga temer que puedan flaquear las dos grandes columnas de la ciencia actual: la ley de conservación de la materia y la ley de conservación de la energía. Ellas son la afirmación más rotunda de la



existencia del universo. Nosotros sentimos la necesidad filosófica de esas leyes, y ante la hipótesis de que dejaran de existir, surge en el fondo de nuestro sér, todo él materia y energía, el fantasma del caos.

\*  
\* \*

A título de curiosidad transcribimos los precios de las sustancias radiactivas que cotizaba en febrero del año actual la *Société centrale de Produits chimiques*.

La columna de números que indica la actividad mide, en unidad francesa, la potencia de radiactividad de la sal.

|                                                                |            |           |                  |                |
|----------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------------|----------------|
| Sales de bario<br>y de radio.                                  | Actividad: | 40. .     | 4 frs. el gramo. |                |
|                                                                | —          | 100. .    | 10 —             | —              |
|                                                                | —          | 240. .    | 24 —             | —              |
|                                                                | —          | 1.000. .  | 25 —             | los 2 decigrs. |
|                                                                | —          | 3.000. .  | 40 —             | el decigr.     |
|                                                                | —          | 7.000. .  | 100 —            | —              |
|                                                                | —          | 10.000. . | 175 —            | —              |
| Subnitrato de bismuto y de polonio.<br>Bismuto-polonio, metal. | —          | 20.000. . | 400 —            | —              |
|                                                                |            |           | 50 —             | —              |
|                                                                |            |           | 100 —            | —              |

Madrid, mayo 1904.

# ÍNDICE GENERAL

---

|                                                    | <u>PÁGINAS</u> |
|----------------------------------------------------|----------------|
| INTRODUCCIÓN . . . . .                             | 9              |
| CAPÍTULO PRIMERO.—NOCIONES PRELIMINARES. . .       | 15             |
| Fosforescencia. . . . .                            | 16             |
| Fluorescencia. . . . .                             | 19             |
| Rayos catódicos. . . . .                           | 20             |
| Propiedades de los rayos catódicos. . . . .        | 22             |
| Rayos Röntgen ó rayos X. . . . .                   | 24             |
| Propiedades de los rayos X . . . . .               | 25             |
| CAP. II.—EL RADIO Y SUS PROPIEDADES. . . . .       | 31             |
| CAP. III.—LOS DESCUBRIMIENTOS DE HENRY BEC-        |                |
| QUEREL. . . . .                                    | 41             |
| Radiación espontánea del uranio. . . . .           | 41             |
| CAP. IV.—DESCUBRIMIENTO DEL RADIO.—LOS TRA-        |                |
| BAJOS DEL MATRIMONIO CURIE. . . . .                | 49             |
| Preparación del radio. . . . .                     | 51             |
| CAP. V.—PROPIEDADES DEL RADIO.—PROPIEDADES         |                |
| ELÉCTRICAS DE LAS RADIACIONES.—DESPREN-            |                |
| DIMIENTO DE CALOR. . . . .                         | 57             |
| Desprendimiento de calor por las sales de radio. . | 60             |
| Efectos químicos producidos por el radio. . . . .  | 68             |



|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CAP. VI.—COMPLEJIDAD DE LAS RADIACIONES DEL RADIO.—LAS TRES ESPECIES DE RAYOS. . . . .                                                       | 75  |
| Experiencias de sir W. Crookes. . . . .                                                                                                      | 79  |
| CAP. VII.—LA RADIOACTIVIDAD INDUCIDA Y LA EMANACIÓN.—COMUNICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL RADIO Á LOS CUERPOS QUE SE HALLAN PRÓXIMOS. . . . . | 85  |
| La emanación. . . . .                                                                                                                        | 88  |
| Emanación y radiactividad. . . . .                                                                                                           | 91  |
| CAP. VIII.—ACCIÓN DEL RADIO SOBRE LOS ORGANISMOS VIVIENTES. . . . .                                                                          | 95  |
| El radio y la visión. . . . .                                                                                                                | 95  |
| Acción sobre los centros nerviosos. . . . .                                                                                                  | 96  |
| Las quemaduras del radio. . . . .                                                                                                            | 97  |
| El radio y los microbios . . . . .                                                                                                           | 101 |
| CAP. IX.—LOS RAYOS N. . . . .                                                                                                                | 105 |
| Los rayos N y el cuerpo humano. . . . .                                                                                                      | 109 |
| CAP. X.—ORIGEN DE LA ENERGÍA DEL RADIO.—APLICACIONES DEL RADIO. . . . .                                                                      | 111 |
| CAP. XI.—BREVES CONSIDERACIONES DEL TRANSDUCTOR. . . . .                                                                                     | 119 |

