





Papp, Desiderio.



W11636W

B.21



R.140.

CIENCIA DIVULGADA



Colección dirigida por el Dr. Eduardo Braun Menéndez

539.722 92 Ront
v210r P 218 r
1945 1945
c.1

RÖNTGEN

DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

POR

~~DESIDERIO PAPP~~

*Profesor de la Facultad de Ciencias de la
Universidad de Tucumán*



967 967



EMECÉ EDITORES, S. A.
BUENOS AIRES

Ru. 11636

MAR 46321
REV. 64778
B

R. 5831



23 - 8.72 Desonido Ep 100.

"ME PREGUNTA QUÉ PENSÉ AL VER LA
PANTALLA FLUORESCENTE ILUMINADA
POR UNOS RAYOS DESCONOCIDOS. NO PENSÉ
NADA, EXPERIMENTÉ."

(Palabras de Röntgen al periodista estadounidense W.
Dam, en febrero de 1896.)

Algunas de las láminas de este libro han sido gentilmente cedidas por
Siemens-Reiniger-Werke, A. G.

PRECURSORES DE RÖNTGEN

“**L**A NATURALEZA —le dijo un día Röntgen a su ayudante Pedro Koch— nos oculta sus tesoros, prepara trampas para los investigadores y, llena de malicia, se esfuerza por desviarnos.” El gran físico tenía, sin duda, razón: durante numerosos años había buscado el efecto Kerr, fenómeno magnético, teóricamente previsible, sin hallarlo. Por el contrario, no buscaba los rayos X y los encontró. Pidió una limosna, el fenómeno Kerr, y la naturaleza, “llena de malicia”, le otorgó un regalo regio que jamás hubiera soñado exigirle: unos rayos de poder milagroso.

Con su extraordinario descubrimiento Röntgen dotó a la humanidad de un nuevo sentido, cuyo asombroso alcance eclipsó las más atrevidas utopías. Ver a través de sustancias opacas, fotografiar el interior del cuerpo humano no fueron más que los primeros pasos dados en la tierra virgen que el formidable hallazgo del físico de Würzburg acababa de hollar. Pronto los éxitos de los rayos X sobrepasaron las esperanzas del descubridor y, una vez más, se demostró que la naturaleza es más rica en posibilidades virtuales que lo que nos pueden hacer prever nuestros pobres sueños.

Los rayos, a la vez reveladores y curativos, elucidaron las relaciones de los átomos entre sí, los clasificaron en una serie tan rigurosa, que los claros evidenciaron de pronto la existencia de elementos químicos desconocidos y, posteriormente, descubiertos unos tras otros. Más aún, los rayos X guiaron la exploración hasta el interior del átomo y nos permitieron vislumbrar matemáticamente el admirable microcosmos de las órbitas electrónicas.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

En ninguna parte de la naturaleza terrestre los rayos X se dan espontáneamente; el físico debe producirlos en el laboratorio. Mucho antes del 8 de noviembre de 1895, día memorable del hallazgo espléndido de Röntgen, los investigadores que trataron de precisar las propiedades, entonces desconocidas, de los rayos catódicos, engendraron, sin saberlo, rayos X. Pero ninguno de ellos se imaginaba que durante las descargas en los tubos al vacío el espacio de sus laboratorios era surcado por rayos mucho más misteriosos y con características más asombrosas aún que el flujo catódico que investigaban. Sin embargo, sería falso creer que la prehistoria de la obra de Röntgen se inicia con los investigadores de la radiación catódica; en realidad se remonta a un pasado mucho más lejano, a la época frankliniana de la electricidad. En efecto, testimonios irrecuables, tales como las descripciones de experimentos, demuestran que, más de cien años antes del gran descubrimiento, el físico inglés G. Morgan, en sus ensayos sobre el tránsito de la electricidad a través de gases enrarecidos, produjo rayos X. Tanto este temprano precursor como sus rivales contemporáneos se hallaron en la imposibilidad material de averiguar la presencia de la radiación invisible que, sin sospecharlo, provocaban. La fotografía no había sido todavía inventada, los fenómenos de ionización eran desconocidos y los de la fluorescencia apenas explorados: les faltaban, por lo tanto, los medios básicos para reconocer la misteriosa radiación, aun mismo si su existencia les hubiera sido revelada por una inverosímil y divina intuición. Una larga serie de conquistas experimentales y teóricas, así como una multitud de hallazgos fundamentales en la óptica, espectroscopia, electromagnetismo, técnica del vacío, debieron ser antes realizados para que su convergencia permitiera al feliz descubridor encontrar los rayos X. El éxito de Röntgen es la síntesis, o sea la culminación de todos estos trabajos. Seguir los complicados meandros de tal desarrollo sería contar la historia de la física en el transcurso de una centuria. Nos contentaremos, pues, con presentar, en rápida revista, a aquellos antepasados del gran físico que prepararon en forma

PRECURSORES DE RÖNTGEN

directa la magna obra de Röntgen: a los creadores del preludeo que introduce a la sinfonía.

La invención de la máquina neumática por Otto de Guericke, y su perfeccionamiento posterior por Huyghens, Hooke y otros, planteó el problema de la conductibilidad eléctrica del aire enrarecido. En ninguna parte despertó tan gran interés como en Inglaterra, donde Francisco Hauksbee —hábil y agudo experimentador, desgraciadamente robado a la ciencia en la flor de su edad— estudió en una serie de sugestivos experimentos el paso de la electricidad a través de gases rarificados. Construyó una máquina giratoria destinada a frotar, mediante una almohadilla de lana, diferentes cuerpos encerrados en una campana neumática. Notó la aparición de una luminosidad rojiza, muy distinta a la chispa que se podía provocar en la superficie exterior de la campana. La estrecha relación del fenómeno con el “barómetro luminoso” observado por algunos físicos, no escapó a su sagacidad. Al agitar el mercurio en el vacío torricelliano de un barómetro, se produjo una débil luminosidad, lívida y difusa: Juan Picard, el primero que la observó, en 1676, creyó ver, en el fenómeno, la prueba de la presencia de una substancia fosforescente en el mercurio. Hauksbee reconoció la irrealidad del “fósforo” de Picard y con experimentos realizados bajo la campana neumática, demostró que el frotamiento del mercurio contra el vidrio reduce en el aire rarificado el *body of fire*, una luminosidad, cuyo origen es indudablemente eléctrico¹.

A estos promisorios comienzos se agregaron, medio siglo más tarde, los estudios de Guillermo Watson (1750) y los del abate Antonio Nollet (1753), los primeros que descargaron botellas de Leyden bajo la campana neumática o a través del vacío barométrico de Torricelli. Los experimentos de Watson marcaron, en comparación con los de Hauksbee, cierto progreso: la presión gaseosa apreciada hasta un centímetro, conseguida por sus predecesores, descendió hasta el grado de un milímetro en los expe-

¹ Hauksbee, *Philosophical Transactions*, 1705, N° 303, y 1706, N° 307.

rimentos de Watson. Observó la luminosidad rosáceo-violeta producida por las descargas, y la describió con mayores detalles. A pesar de ello no encontró nuevos hechos. Hubo que esperar los estudios de Morgan, para ver surgir otro fenómeno.

Guillermo Morgan se propuso resolver el intrigante problema de si el vacío verdadero, absoluto, permite o no el paso de la electricidad. Con grandes precauciones preparó el vacío torricelliano haciendo hervir durante varias horas el mercurio en el interior del tubo, al que previamente había secado cuidadosamente las paredes. De este modo consiguió una expulsión mejor de los restos de aire en la cámara barométrica y obtuvo un ambiente de menor presión que sus predecesores. Morgan envolvió la parte superior del tubo barométrico con papel de estaño conectado a tierra, y sumergió la parte inferior en una cubeta herméticamente cerrada por una tapa de bronce en contacto, por un conductor metálico, con la superficie mercurial¹. Al conectar la tapa de la cubeta con la máquina eléctrica en funcionamiento, un resplandor iluminó la cámara barométrica, con una intensidad que podía alcanzar la de una chispa y a veces hasta perforar la pared de vidrio del tubo. Morgan, y esto es lo esencial de su mérito, observó durante la descarga la aparición de una intensa luz verde. Esta luminosidad provocada sobre la superficie del vidrio por el bombardeo catódico se llamó, cien años después, mancha catódica, y señala en el tubo, como reconocerá Röntgen, el lugar de donde salen los rayos X, engendrados por el brusco frenamiento que sufren los rayos catódicos sobre la pared de éste. Morgan logró, pues, producir rayos catódicos y aun rayos X. Su instrumental consistía nada más que en un primitivo tubo catódico: el papel de estaño hacía las veces, en su dispositivo, de ánodo, y la tapa de bronce de cátodo. La máquina electrostática que poseía era capaz de producir una diferencia de potencial poco inferior a la del pequeño inductor de Rumkorff empleado por Röntgen en sus

¹ G. Morgan, *Philosophical Transactions*, 1785, N° 75; ver el artículo de A. E. Roffo (h.), "¿Cuándo se produjeron por primera vez los rayos Röntgen?", *Revista Argentina de Historia de la Medicina*, diciembre, 1944.

primeros experimentos. Aunque es indiscutible que Morgan construyó la forma más ancestral del tubo catódico, con todos sus méritos, el extraño precursor estuvo lejos de sospechar que había encontrado el manantial de nuevas y desconocidas radiaciones; semeja a un Colón llegado a las islas Guanahaní, pero desprovisto de medios para continuar el viaje y descubrir el nuevo continente.

Siete decenios transcurrieron después de las experiencias de Morgan sin que los investigadores realizaran ningún adelanto notable en la búsqueda del misterio de los rayos escondidos en los tubos de descarga. El célebre químico Humphry Davy observó, en 1822, la verdosa luz de la mancha catódica, descubrimiento que algunos manuales, erróneamente, le atribuyen. El gran Faraday examinó, en 1835, los resplandores coloreados que se manifiestan en el tubo cuando la presión gaseosa no sobrepasa algunos milímetros de mercurio. En las proximidades del cátodo no le pasó inadvertida la presencia de un espacio oscuro, que hoy lleva su nombre, y que separa de los resplandores del cátodo a la columna luminosa salida del ánodo. Aquellos comprenden dos capas, la primera que rodea como una aureola al cátodo, y está separada de la segunda por un intervalo sombrío que más tarde habría de llamarse espacio oscuro de Hittorf. Al bajar la presión hasta un milímetro de mercurio, el físico francés Benito Abria observó, en 1843, la columna luminosa del ánodo resolverse en estratos, capas alternativamente brillantes y sombrías.

El examen minucioso de los fenómenos comienza en 1857, cuando Enrique Geissler, hábil mecánico y soplador de vidrio, inventa la bomba a mercurio y construye tubos con mejor vacío. Los tubos originales de Geissler tienen un estrechamiento capilar, y por sus extremidades penetran hilos de platino. En el primer modelo, la presión descendió a un décimo de milímetro y en los posteriores llegó a algunos milésimos de milímetro. Paralelamente al progreso de la técnica del vacío, iniciada desde este momento, se producen importantes hallazgos: tres hombres cuyos trabajos se complementan, Plücker e Hittorf en Alemania y

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

Crookes en Inglaterra, participan por igual en el mérito de haber aprehendido, en confusa complejidad de los efectos que acompañan la descarga en el tubo de Geissler, lo esencial, lo nuevo: la radiación que sale del electrodo negativo, o sea: los rayos catódicos.

Julio Plücker (1801-1868), ilustre geómetra, profesor en Berlín y después en Bonn, abandonó sus investigaciones analíticas para dedicarse de lleno al estudio de los espectros de los gases. En sus ensayos, utilizó los tubos de Geissler y, al establecer una diferencia de potencial de varios miles de voltios entre los electrodos de platino, observó que algunas partículas son arrancadas del electrodo negativo y depositadas sobre el vidrio. Estas partículas, creyó erróneamente, producen, al hacerse incandescentes por la acción de su separación, los fenómenos luminosos en el tubo. La atención de Plücker fué atraída sobre todo por la fluorescencia producida durante la descarga enfrente del cátodo. Comprobó, no sin sorpresa, que un imán es capaz de desplazar la mancha fluorescente. Sus interesantes observaciones, los primeros indicios de la radiación negativa, datan de 1858 ¹. Plücker, adelantándose, pues, a sus rivales es, por lo tanto, el descubridor de los rayos catódicos. Sin embargo, no reconoció la importancia de su hallazgo y, absorbido como estaba por sus estudios espectroscópicos, no exploró el dominio que así acababa de abrir a otros.

Guillermo Hittorf (1824-1914), alumno de Plücker en Bonn, fué nombrado, a los 23 años, profesor en Münster, pequeña universidad de tercer rango, en la que permaneció durante toda su vida. Su aislamiento lejos de los grandes centros científicos, unido a la marcada aridez de sus publicaciones, fueron la causa de que sus notables resultados no despertaran todo el interés que se merecían. Con tenacidad incansable, en 15 años, exploró las características de los rayos catódicos ².

¹ Plücker, *Poggendorfs Annalen*, 1858, tomo 103; 1859, tomo 104.

² Hittorf, *Poggendorfs Annalen*, 1869, tomo 136; *Wiedemanns Annalen*, 1879, tomo 7; 1883, tomo 20; 1884, tomo 21.

PRECURSORES DE RÖNTGEN

Hittorf observó que en un tubo geissleriano con cátodo puntiforme, la parte de la pared donde aparece la mancha fluorescente está situada en el lado opuesto al cátodo; y que al colocar un cuerpo sólido entre el cátodo y la mancha, se ve aparecer una sombra sobre el cristal. La sombra, explica Hittorf, revela la propagación rectilínea de los rayos. Si se elige, en cambio, una ampolla geissleriana con cátodo esférico-cóncavo en vez de puntiforme, se observa que el flujo catódico, a diferencia de los rayos luminosos, no está dirigido en todas las direcciones, sino perpendicularmente a la superficie de emisión. Los rayos se juntan, observa Hittorf, en el centro de la curvatura del cátodo. Entonces colocó en este centro trozos metálicos y notó que los rayos calentaban los cuerpos con que chocaban; también estableció que impresionaban placas fotográficas. Los rayos se comportan, escribe Hittorf, como hilos imponderables, rectilíneos, rígidos, y sólo están fijos por el extremo que toca al cátodo. Finalmente, puso en evidencia que, bajo la influencia de un imán, cuyas líneas de fuerza son perpendiculares a los rayos, éstos se enrollan en volutas helicoidales. En estos resultados se encuentran condensados gran parte de nuestros conocimientos actuales sobre los rayos catódicos. En realidad, Hittorf es el primer físico que nos presenta, con los rayos catódicos, la electricidad por sí, liberada de la materia, a la que hasta entonces siempre parecía ligada. Sus observaciones plantean el problema de la constitución de los rayos catódicos.

El investigador inglés C. F. Barley (1871) concibe la desviación magnética del flujo catódico como índice de que éste se halla formado por partículas cargadas negativamente, y el sabio alemán Eduardo Riecke aporta (1881) argumentos teóricos, mostrando que los corpúsculos de carga negativa deben comportarse, en un campo magnético, del mismo modo que los rayos catódicos en el experimento de Hittorf. Los rayos serían, pues, de naturaleza corpuscular. La hipótesis de Barley y Riecke tropieza, sin embargo, con las objeciones de Eilhardt Wiedeman y Enrique Hertz (1892). Los rayos catódicos se di-

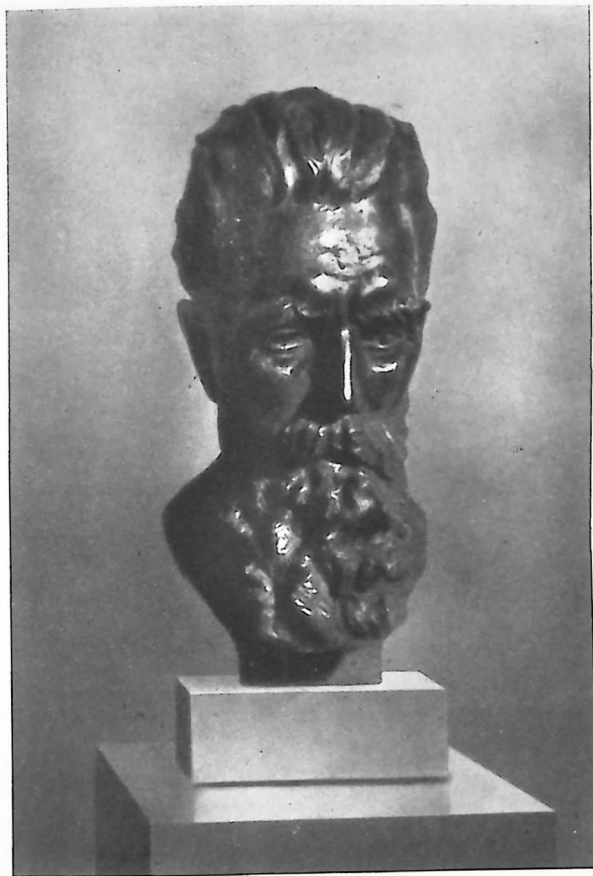
EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

funden, como Hertz lo demuestra, a través de delgadas hojas permeables para la luz. Por creer que los corpúsculos no podrían comportarse de tal modo, Hertz concluye que los rayos catódicos son, al igual que la luz, ondulaciones del éter. Si se coloca el tubo de descarga en un campo eléctrico transversal, fuera del tubo no se evidencia ninguna desviación, hecho que a Hertz le parece afirmar la naturaleza ondulatoria de los rayos. Se inicia una larga polémica; la opinión de Hertz prevalece durante cierto tiempo entre los físicos alemanes, mientras que los corpuscularistas ven su causa defendida en Inglaterra por Crookes.

Guillermo Crookes (1832-1919), célebre químico, descubridor del talio, disponía de un laboratorio mucho mejor provisto que el de Hittorf. Perfeccionó los tubos geisslerianos, disminuyó la presión del gas encerrado y sometió a nuevas pruebas la descarga todavía misteriosa. Comprobó que la fluorescencia provocada por el flujo catódico no sólo se producía en el vidrio, sino también en minerales y sales, con los colores característicos de las sustancias. En una serie de elegantes experimentos varió los ensayos de Hittorf y estableció los efectos térmicos del flujo catódico. Demostró que el impacto catódico ponía rápidamente al rojo blanco al platino y al osmio; el vidrio de la ampolla, sometido largo tiempo al bombardeo de los rayos, acababa por ser perforado. Crookes admitió que el gas rarificado del tubo constituía un cuarto estado de la materia, el estado radiante, y creyó haber alcanzado, con sus investigaciones, el terreno fronterizo en el que la materia y la fuerza se confunden ¹.

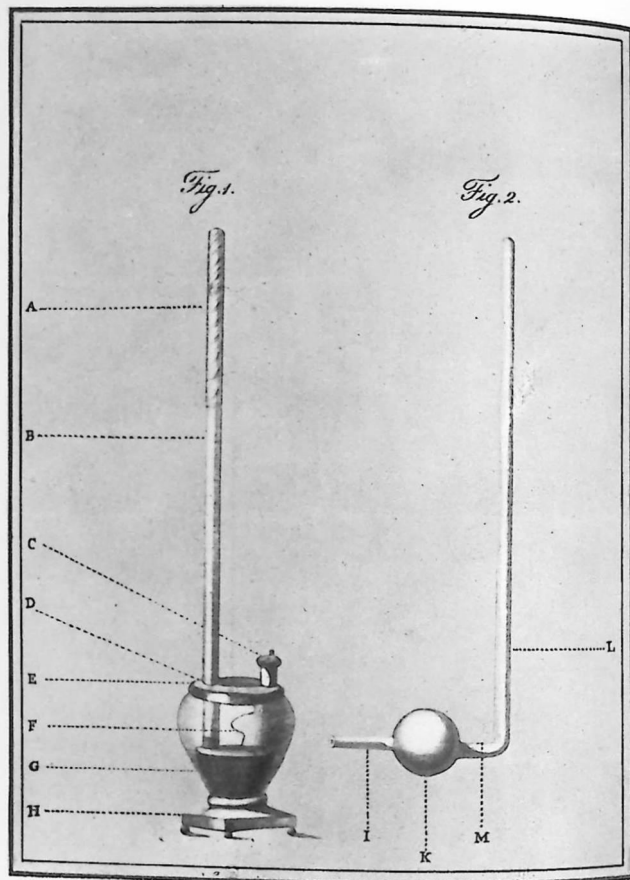
Para explicar los fenómenos de descarga, Crookes acudió a los movimientos perpetuos de las moléculas que incesantemente se entrecocan y, en ambientes densos, sólo pueden recorrer trayectorias muy cortas, mientras que en los gases enrarecidos, donde los choques son menos frecuentes, se les ofrecen

¹ *Philosophical Transactions*, t. 170, 1879; *Annales de Physique*, t. 19, 1880.



1. — Busto de Röntgen

PRECURSORES DE RÖNTGEN



2.—El físico inglés Morgan produjo rayos X a fines del siglo XVIII sin advertir la presencia de estos rayos invisibles. Aparatos que utilizó en sus experimentos.

caminos libres, considerablemente alargados. El espacio sombrío en torno al cátodo corresponde, asegura Crookes, al camino libre de las moléculas en el gas enrarecido; en sus límites, donde las moléculas chocan entre sí, comienza el resplandor positivo. Éste no puede formarse si la rarefacción ha progresado a tal punto que el camino libre se extienda de un electrodo al otro. Entonces, las partículas proyectadas por el cátodo se lanzan en línea recta hasta las paredes del tubo, independientemente del emplazamiento del ánodo. La teoría de Crookes tenía algo de verdad: subrayaba la naturaleza corpuscular de los rayos. Sin embargo, la suposición de que el flujo catódico estaba constituido por las moléculas electrizadas del gas residual, rechazadas por el cátodo, fué considerada inadmisibile cuando Thomson logró medir la velocidad y la carga específica de los corpúsculos catódicos.

José Juan Thomson (1857-1940), experimentador de genio, que aumentó con sus resonantes éxitos la fama del laboratorio Cavendish, logró después de numerosos y vanos ensayos medir, con ayuda de espejos giratorios, la velocidad del flujo catódico. El valor hallado alcanzó hasta los 10.000 kilómetros por segundo, más bajo que la velocidad de la luz y enormemente superior a la de las moléculas gaseosas. Ni Hertz ni Crookes tenían razón: el flujo catódico no es ni vibración de éter, análoga a la luz, ni lluvia de moléculas proyectada por el cátodo, es un flujo de partículas portadoras de cargas negativas. El físico francés Juan Perrin pronto proporcionó la prueba directa. Al introducir en la ampolla un cilindro metálico, unido a un electrómetro, observó que éste acusaba una carga negativa. Pero ¿cuál era la naturaleza de las partículas del flujo? Thomson dió en 1897 la respuesta. Midió el cociente de la carga de la partícula por su masa —la llamada carga específica— con ayuda de la desviación que los proyectiles catódicos sufren en un campo magnético y en otro eléctrico. El valor del cociente e/m evidenció claramente que la carga elemental en una partícula catódica, la del ión monovalente, está ligada a una masa casi 2.000 veces inferior a la

de un átomo de hidrógeno. Así, la carga específica se reveló igual a la de los corpúsculos eléctricos elementales, cuya existencia se había ya manifestado en numerosos fenómenos; en el flujo catódico volvemos a encontrar —tal es la conclusión capital de Thomson— electrones en estado libre.

Entretanto, el físico alemán Eugenio Goldstein completó con una interesante observación el conocimiento de los fenómenos de descarga en los gases rarificados. Al introducir variantes en los experimentos de Hittorf, se valió de una ampolla con cátodo perforado y descubrió, en 1886, en el espacio situado detrás del cátodo, rayos de una nueva especie, a los que llamó rayos canales para recordar la forma en que los obtuvo. En razón de su carga, los rayos de Goldstein son desviados por campos eléctricos y magnéticos. La desviación, medida por Guillermo Wien, demostró que los rayos se componían de partículas positivas, de masa mucho más pesada que la de los corpúsculos catódicos y comparable a la de los átomos y las moléculas. Estos hallazgos, por reveladores que fueran, no despertaron más que el interés de un reducido círculo de especialistas y dejaron indiferentes a la mayoría de los físicos. Sin embargo, a fines de 1895, ocurrió un acontecimiento científico que atrajo poderosamente la atención del mundo entero.

Hertz había demostrado que ciertas delgadas láminas metálicas son permeables a los rayos catódicos; su ayudante, Felipe Lenard, le añadió, en 1894, a la ampolla geissleriana, una placa de aluminio, que a modo de ventanilla permitía el paso del flujo catódico, y a la vez estudiarlo liberado de su lugar de origen, en la atmósfera exterior. Lenard comprobó que en el aire los rayos producen ozono y que son muy absorbibles por la materia; una placa de cuarzo con medio milímetro de espesor basta para detenerlos. Observó que las placas fotográficas, aunque protegidas de la luz por una envoltura, aparecían borrosas al ser colocadas en la proximidad del tubo. Parecía como si los tubos emitieran rayos que penetrasen a través de las cubiertas, pasando las capas de cartón con que recu-

brió el tubo. En este momento, Lenard estuvo a un paso de un trascendental descubrimiento que hubiera podido ser el mayor de su vida. Pero, en lugar de preguntarse si los complejos fenómenos de la radiación fuera del tubo eran análogos a los característicos de los rayos catódicos, buscaba en sus experimentos pruebas que confirmaran su sospecha de que los flujos catódicos consistían en vibraciones del éter. Mientras Lenard se perdía en vagas y erróneas conjeturas, y Thomson preparaba experimentos destinados a elucidar definitivamente la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos, en la pequeña ciudad universitaria de Würzburg un maestro genial de la experimentación sorprendió, en la Nochebuena de 1895, a la humanidad con uno de los descubrimientos más asombrosos de todos los tiempos.

Capítulo I

JUVENTUD DE RÖNTGEN

1. - La casa paterna y el liceo

UNA VIEJA leyenda alemana cuenta que en el momento de nacer un ser humano llamado a cumplir magníficas hazañas, las campanas de la Iglesia de su predio natal comienzan a repicar, cual si una mano invisible las tañera. Si la leyenda se hubiera cumplido, el 27 de marzo de 1845, a las 4 de la tarde, las campanas de las dos iglesias de la pequeña ciudad de Lennep, en la regencia de Düsseldorf, hubieran debido tocar a vuelo, pues, en ese momento, en una vetusta casa de la calle de Los Correos, nacía Guillermo Conrado Röntgen.

Hacia mediados del siglo pasado, época de relativa paz y seguridad, Lennep, con sus cinco mil habitantes, alejada de los ruidosos y activos centros de la vida alemana, apenas era algo más que una gran aldea, tranquila y adormecida en medio del sonriente paisaje de la provincia renana. Los fundadores de la modesta industria de Lennep eran tejedores emigrados de Colonia con motivo de las sacudidas belicosas del medioevo, y sus tardíos descendientes, agrupados a través de los siglos en la apacible comunidad, ejercieron el lucrativo comercio de lanas. Uno de los mercaderes más acomodados, y por ello considerado, fué el padre del futuro descubridor, Federico Conrado Röntgen.

La estima que rodeaba en Lennep a Federico C. Röntgen se basaba no sólo en su fortuna, sino aún más en el pasado tres veces secular de la familia. Árbol genealógico de tan respetable antigüedad equivalía, ante los ojos de los pequeños burgueses de la industriosa región, casi al espaldarazo de la hidalguía, y más aún, ya que varios antepasados de Federico Röntgen dejaron una perdurable huella en la historia local: su abuelo, Juan Enrique, estuvo investido de la dignidad de burgomaes-

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

tre de Lennep; su tío abuelo, David Röntgen, se distinguió como un verdadero artista en su profesión de taraceador; sus preciosas marquesinas llegaron a despertar interés en los círculos de coleccionistas aristocráticos y hasta fueron adquiridas por la emperatriz Catalina de Rusia y la reina María Antonieta de Francia.

Con su matrimonio, el joven Federico Röntgen dió lustre a los blasones de la familia; su mujer, la madre del gran investigador, Carlota Constancia Frowein, oriunda de Amsterdam, Holanda, era hija y nieta de ricos comerciantes e industriales cuyas tradiciones se remontaban a un pasado todavía más lejano que el de los Röntgen. Uno de los abuelos llegó, durante el siglo XVIII, en sus viajes mercantiles hasta el Extremo Oriente. Numerosos objetos de arte recuerdos de su aventurada expedición, adornaban las salas de la comfortable casa en que viera la luz por primera vez Guillermo Conrado Röntgen.

Su venida al mundo fué difícil y estuvo a punto de costarle la vida a su madre, que ya pasaba los 39 años cuando el niño, hijo único, nació. Por una extraña ironía del destino, el hombre que habría de dar a la humanidad un poder visual de un género nuevo de insospechada penetración, recibió de la naturaleza unos ojos atacados de ceguera congénita para los colores; las diferencias entre el rojo y el verde, nunca existieron para él.

La imagen de la casa paterna, escenario de sus primeros pasos por el mundo no dejó huella alguna en los recuerdos de Röntgen, puesto que la familia abandonó Lennep cuando el niño tenía apenas 4 años, trasladándose a Holanda, donde el sagaz comerciante esperaba encontrar un campo más amplio para sus actividades. Se establecieron en la ciudad de Appeldoorn en la que vivían los Frowein, abuelos del niño. A los pintorescos jardines cruzados por numerosos *grachts* (acequias) de la simpática ciudad se remontan las primeras reminiscencias de Röntgen, que tanto gustaba revivir en su vejez las impresiones de los felices años juveniles. Gracias a las lecciones de un maestro amigo de la familia aprendió simultá-

JUVENTUD DE RÖNTGEN

neamente a leer y a escribir en alemán y holandés. Después del primer aprendizaje ingresó en el Instituto de Martín Herman Van Doorn, escuela privada, donde los hijos de las familias selectas de Appeldoorn, completaban su educación.

La decisión que tomara Federico Conrado Röntgen de enviar el mozuelo al instituto Doorn y no a un liceo, se debía a los deseos de que éste le sucediera un día en los negocios. Estos propósitos paternos, que de haberse realizado hubieran convertido al inmortal investigador en un mercader en lanas, nos parecen, a través de la retrospectiva histórica, casi diabólicos. A pesar de ello, el proyecto era razonable, puesto que nada en el desarrollo intelectual del joven revelaba al genio en ciernes. En vano se buscaría en la infancia de Röntgen esa huella de admirable precocidad que hiciera presumir desde la más temprana edad los altos destinos de Huyghens, Pascal y Gauss. Lejos de ser un niño prodigio, Guillermo Conrado fué un alumno mediocre. Los largos vagabundeos por los románticos bosques de Appeldoorn le atraían más que la lectura de cualquier libro. Sin embargo, una predilección lo destacó de sus camaradas: lo mismo que el joven Isaac Newton en la escuela de Grantham, Röntgen en el instituto Van Doorn procuraba, demostrando para ello una gran habilidad, construir toda clase de mecanismos: un pequeño vehículo automático, un reloj con campanillas. A los catorce años comenzó, a escondidas, a fumar y pronto ideó una minúscula bomba a succión para limpiar su pipa. No hay duda de que únicamente la clarividencia de un profeta hubiera reconocido en estos juegos anodinos los primeros tanteos del futuro experimentador. No obstante, el creciente interés del joven por los mecanismos prácticos parecía predisponerle para estudios técnicos. Su padre no se opuso por mucho tiempo a lo que el hijo creyó que era su vocación. Como el instituto Van Doorn no preparaba para estudios superiores, envió al joven Guillermo a un liceo de Utrecht.

Durante sus años estudiantiles de Utrecht, el adolescente vivió en la casa de un distinguido químico, el profesor Gun-

ning, en la que halló un ambiente acogedor. Todavía seis decenios después, en el crepúsculo de su vida, recordaba con una alegría melancólica las risueñas impresiones de aquel lejano pasado: "El padre de la familia —escribía a una amiga¹— era un reputado hombre de ciencia de carácter firme; hombre sensato y simpático que sabía perfectamente cómo dirigir la juventud por los rectos senderos en la vida. La madre, una mujer culta y agradable, nos rodeaba de una atmósfera llena de felicidad y a la vez plena de sugerencias. No teníamos allí oportunidad ni deseos de perder el tiempo estúpida y tontamente. Uno de nuestros pasatiempos favoritos consistía en representar pequeñas comedias de las que éramos autores. En los días feriados siempre teníamos alegres diversiones. ¡Agradable y aprovechado tiempo! Muchas veces monté a caballo y practiqué también otros deportes. *Mens sana in corpore sano*, que así reza el proverbio, si mis latines no son errados".

Esta sosegada felicidad, por desgracia, no duró mucho. Un acontecimiento imprevisto intervino; acontecimiento grave, casi trágico. Dos años antes de terminar el bachillerato, Röntgen fué expulsado del liceo. Una inocente broma estudiantil decidió a los pedantes pedagogos de la escuela adoptar tan drástica medida. Este episodio, de por sí nada significativo, casi roba a la física uno de sus más brillantes representantes; y sus consecuencias, aunque parezca increíble, lograron amenazar, catorce años después del incidente, la carrera científica del futuro descubridor de los rayos X.

Röntgen nunca pudo olvidar la dura prueba de su juventud. Ya en la cumbre de la fama mundial guardaba todavía un amargo recuerdo de este episodio estudiantil. En la vejez, cuando su humorismo nato doraba las pequeñas y grandes adversidades del pasado, la penosa aventura de Utrecht era una notable excepción y prefería pasarla en silencio; debido a ello no conocemos con exactitud los detalles del drama juvenil.

¹ Carta a Margarita Boveri, 3 de enero de 1918, publicada en *Persönliche Erinnerungen an W. C. Röntgen*, Julius Springer, Berlín, 1931.

Un maestro del liceo, cuya severidad era particularmente temida por los alumnos, encontró cierto día su caricatura dibujada por una mano hábil sobre el pizarrón de la clase. Las sospechas recayeron sobre Röntgen, quien se negó a delatar al verdadero autor. Fué sometido a largos y penosos interrogatorios que terminaron con su expulsión del liceo. Parece que la pena implicaba borrar su nombre de la lista de alumnos. En efecto, cuando siete décadas después el bibliotecario de la Universidad de Utrecht, Evers, trató de encontrar las huellas de los años holandeses de Röntgen, buscó infructuosamente en los viejos anuarios de los liceos de la ciudad. El más famoso nombre que haya jamás llevado un estudiante de la capital de Gelerland, no aparece en los archivos de los liceos de Utrecht.

El joven no se dió por vencido; siguió en Utrecht y trató de prepararse para los exámenes mediante lecciones privadas. Sin embargo, el pequeño drama estaba lejos de su desenlace. Cuando, después de seis meses de estudio, se examinó, el cruel azar quiso que el preceptor ofendido, el mismo que consiguiera su expulsión, formara parte de la mesa examinadora: Röntgen fué aplazado. Esta vez sus esperanzas universitarias parecían desvanecerse por completo.

El padre, en Appeldoorn, no estaba del todo descontento con el curso de los acontecimientos: esperaba que la desventura escolar conduciría a su hijo a la profesión familiar. Pero el adolescente se defendía desesperadamente, y en la lucha encontró un apoyo eficaz en su madre. El ingreso a la Escuela Técnica estaba felizmente abierto a todos los estudiantes, sin exceptuar a los que no eran bachilleres. Allí se refugió Guillermo Conrado huyendo de las amenazadoras intenciones de su padre. Este paso, aunque salvación provisoria, no acercó al estudiante a su meta, ya que la Escuela Técnica era un instituto industrial, cuya enseñanza de nivel secundario y sus cursos de dos años no preparaban el ascenso a la universidad. Los esfuerzos del tenaz alumno para matricularse a título de excepción en la Universidad de Utrecht fracasaron; sólo fué ad-

mitido en calidad de estudiante libre sin derecho al diploma. La situación parecía sin solución.

El que busque en las biografías de los grandes investigadores argumentos contra sistemas y métodos de la enseñanza oficial, puede estar seguro de encontrar más de lo que espera. El ilustre químico Davy, los grandes matemáticos Galois y Hermite, son tres testimonios clásicos —todos de la primera mitad del siglo XIX— de los obstáculos que la pendería de pedagogos y la estupidez de los examinadores pueden acumular sobre el camino del genio. El caso de Röntgen es el cuarto de la serie; el de Einstein, el quinto que prolonga la lista hasta nuestros tiempos. Los avatares escolares del descubridor de los rayos X, ofrecen, por lo demás, una analogía sorprendente con los del creador de la teoría relativista. En efecto, Einstein, impotente para soportar el terror del Gimnasio de Múnich, escapó de sus maestros y debió en seguida sostener una dura lucha, golpeando en vano las puertas de la universidad. Más tarde, laureado ya con el premio Nobel, no ahorró críticas a la inanidad de los exámenes y programas de enseñanza, que también Röntgen flagelara: “¡Oh los exámenes!; son necesarios para ahuyentar a muchos estudiantes de profesiones para las cuales serían demasiados perezosos o inhábiles, pero en general ni siquiera para esto sirven. Sin duda alguna son un tormento para los alumnos, y su recuerdo, aún años después, provoca pesadillas. Sólo la experiencia de la vida es la verdadera prueba de la capacidad para cualquier clase de profesión”¹.

El propio Einstein, cuando joven, por último encontró asilo en el “Politécnico” de Zürich, el mismo Instituto que, más liberal que sus congéneres, abriera sus puertas a Röntgen. El examen de ingreso convenció a los profesores de que el candidato Röntgen, a pesar de faltarle el bachillerato, poseía una preparación superior a la exigida. El 14 de noviembre de 1865, Röntgen se estableció, pues, en Zürich. Los nubarrones que oscurecían el horizonte de su porvenir comenzaban a disiparse.

2. - *Años estudiantiles en Zürich*

Libre de las preocupaciones que lo habían apesadumbrado en Utrecht, lleno de esperanzas y de ambiciones, llegó Röntgen a Zürich, que en esa época no era el poderoso centro bursátil e industrial de hoy. En la idílica tranquilidad de la ciudad que se extendía a orillas de un pintoresco lago, en cuyo azul se reflejaban las cimas de los Alpes, los mil quinientos estudiantes de las dos escuelas superiores del lugar aportaban el ruido y febril empuje de su juventud. Formaban una casta privilegiada, casi otra ciudad en la ciudad. Dueños de la calle, siempre dispuestos a asombrar y escandalizar a los apacibles burgueses, eran a la vez temidos y queridos.

Más que la vieja y conservadora Universidad de tradiciones acartonadas, la moderna Escuela Politécnica, con su fama creciente, era el orgullo de los habitantes de Zürich. El método de su enseñanza, impuesto por las exigencias prácticas, sus afamados profesores y sus laboratorios bien equipados, aseguraban al Instituto un prestigio que llegaría más allá de las fronteras de la pequeña Suiza, atrayendo a los futuros ingenieros de Alemania, de Holanda, de Italia, y hasta de los países escandinavos. La turba estudiantil, multicolor y poliglota, confirió al barrio central de Zürich un carácter internacional, del que carecían la mayoría de las ciudades universitarias europeas. En ese ambiente atractivo y lleno de sugerencias transcurrieron cuatro años de la vida de Röntgen.

Guillermo Conrado había madurado durante la desventura holandesa y se dió perfecta cuenta de haber perdido, aunque no por su culpa, un tiempo precioso en Utrecht. Con extraordinario celo se dedicó a los cursos técnicos prescriptos por el programa del Instituto, que también incluía matemáticas superiores y química mineral. Sin embargo, estos estudios y los trabajos prácticos que los acompañaban, no llenaron todo su tiempo y tampoco absorbieron íntegramente sus facultades. Los

¹ Carta de Röntgen a Teodoro Boveri, junio 21 de 1920, loc. cit.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

problemas de física teórica comenzaron a despertar su interés a través de las lecciones que el ilustre investigador Clausius dictaba sobre termodinámica y la teoría cinética de los gases. Las lúcidas y magistrales exposiciones del original pensador impresionaron profundamente al joven. Cosa extraña y sumamente significativa: más que los otros maestros del Instituto fué Clausius, el teórico puro, el investigador que nunca hizo un experimento, el que formó en estos años tempranos y decisivos el espíritu de uno de los experimentadores más hábiles del siglo. La importancia de este hecho, descuidada en las notas biográficas sobre Röntgen, debe ser sin embargo especialmente recalcada. Si Röntgen se convirtió en el maestro por excelencia del experimento exacto, fué debido a que anhelaba para el experimento el ideal de exactitud propio de la teoría. Nunca perdió ese vivo interés que Clausius le inculcaba por los problemas teóricos. Como veremos, fué en efecto, un problema teórico el que lo llevó al más famoso de sus descubrimientos.

Rodolfo Clausius, el más eminente de los maestros que enseñaban entonces en el Politécnico zuriquense, tenía 43 años y se hallaba en la cumbre de su carrera, cuando Röntgen ingresó en los claustros. Su tratado clásico "sobre la fuerza motriz del calor", publicado en 1850, había elevado de repente, y en el mismo año, a la primera fila al desconocido maestro de la Escuela Militar de Berlín. Con admirable sagacidad Clausius había eliminado de los felices, pero incoherentes hallazgos de Sadi Carnot, los restos caducos de la vieja teoría que perduraban en las deducciones del investigador francés: la tradicional idea de que el calórico era un flúido indestructible, productor de trabajo en la máquina a vapor únicamente por descenso, y que alcanzaba la temperatura inferior sin disminución de su cantidad. Con perspicacia genial Clausius reconoció, aun en los errores de su gran predecesor, huellas de verdad y, conservando la parte viva del teorema de Carnot, la ligó indisolublemente con el principio de la conservación de la energía, principio descubierto por Roberto Mayer ocho años

JUVENTUD DE RÖNTGEN

antes, y acabado de comprobar por los hermosos experimentos de Joule y los agudos razonamientos de Helmholtz. Clausius demostró que en todas partes donde la naturaleza produce trabajo, se consume una cantidad equivalente de calor. Además, el consumo de determinada cantidad de trabajo siempre engendra una equivalente cantidad de calor. A esta primera conclusión Clausius agregó, en su tratado, la demostración de una segunda. En los procesos reales de la naturaleza, que son irreversibles, únicamente una fracción y nunca la totalidad del calor puede volverse trabajo.

Las leyes de Clausius —hoy familiares a todos, como los dos primeros principios de la termodinámica— tenían, en el momento en que Röntgen se convirtió en su discípulo, una antigüedad de quince años, y el joven estudiante las conocía a través de sus lecturas de Utrecht. Sin embargo, las elegantes y decisivas deducciones del maestro confirieron a los enunciados un profundo sentido, para Röntgen enteramente novedoso. El poder explicativo que los principios adquirirían en las demostraciones de Clausius lo llenó de admiración. En Utrecht había aprendido que en algunos fenómenos de la naturaleza una cierta cantidad de calor se vuelve latente. Conocía la experiencia clásica de que al suministrar una determinada cantidad de calor a un recipiente lleno de hielo, éste se funde y, sin embargo, el termómetro introducido en aquél no indica elevación alguna de temperatura. ¡El calor aumenta y la temperatura no cambia! Los maestros de Utrecht, lo mismo que cien años antes José Black, descubridor del fenómeno, fueron incapaces de explicar la paradoja. Todo se aclaró de pronto con Clausius, mostrándose como una ineludible consecuencia de su termodinámica. El calor aparentemente desaparecido representa el equivalente de trabajo consumido para alejar bastante entre sí a las apretadas moléculas del hielo, para que el estado sólido pueda transformarse en líquido. Lo mismo ocurre en el fenómeno de la evaporación del agua, y es evidente que en ambos casos el calor de fusión y de evaporación se sus trae a la medición termométrica. Al mismo tiempo, la dife-

rencia fundamental entre el trabajo interno y externo aparece con claridad. El rigor lógico de estas y otras deducciones semejantes de Clausius atrajeron a Röntgen satisfaciendo mucho a su inquieto espíritu.

El experimentador en ciernes fué atraído por la asombrosa facilidad con que Clausius supo deducir, de los resultados empíricos de otros, conclusiones de grandes alcances. En efecto, a pesar de su excepcional capacidad matemática, Clausius nunca se dejó llevar por el análisis a las regiones de conceptos vagos y precavió de tal peligro a sus alumnos; la matematización de la física no fué para el maestro, como para muchos teóricos de entonces y de hoy, una finalidad de por sí, sino un instrumento eficaz para hallar ocultas realidades físicas. Röntgen tuvo la suerte de ver, en el mismo año que iniciara sus estudios en Zürich, el extraordinario poder del método clausiano. Siempre atento al sentido físico de los símbolos, Clausius acababa de dar el más imprevisible de sus descubrimientos: al tratar matemáticamente el problema de Carnot, encontró la noción fundamental de entropía que había pasado inadvertida a sus eminentes antecesores, Carnot y Clapeyron, y también a su rival Guillermo Thomson, a pesar de que todos estos investigadores se habían acercado a ella.

El camino que condujo a Clausius a formular la noción de entropía deslumbró al joven Röntgen, particularmente por su sencillez. En efecto, pocos son los descubrimientos teóricos que podrían ser más instructivos. Al realizar cálculos relativos al ciclo de Carnot, Clausius vió surgir con frecuencia cierta función, y reconoció que podía expresarse como el cociente de la cantidad de calor por la temperatura absoluta, y se percató de que ese cociente era constante en todas las operaciones reversibles. Desde este momento no le abandonó el pensamiento de que el cociente indicado pudiera tener una significación importante. Buscó el sentido físico de la enigmática magnitud, hasta que tropezó con el hecho de que la entropía en ciclos no reversibles tenía un valor siempre positivo y traducía la parte no transformable de la energía. Como en la

naturaleza no existen ciclos totalmente reversibles, Clausius llegó a su famosa conclusión: En cada transformación del mundo físico la entropía de los cuerpos participantes debe crecer ininterrumpidamente.

En los "coloquios" destinados a sus más aventajados alumnos, Clausius expuso, en la primavera de 1866, con mayores detalles que en su trabajo fundamental, los extraordinarios alcances físicos de la nueva noción. Aunque principiante, Röntgen fué admitido en las reuniones. Treinta años más tarde todavía relataba con orgullo a su amigo Zehnder la satisfacción por la distinción que se le otorgó y el inolvidado recuerdo de las agudas y apasionadas discusiones en torno de la tesis de Clausius. Así maduró, en contacto con el poderoso e inventivo ingenio del gran físico, el espíritu del joven estudiante.

Los estudios no impidieron a Röntgen intervenir en los placeres de la vida estudiantil. Aunque las ruidosas distracciones no eran de su agrado, amó la compañía de sus camaradas universitarios, entre los cuales el pensativo "Apeldoorn" —tal era el sobrenombre que sus compañeros le pusieron— despertaba gran simpatía. Su carácter afable y su modestia, que supo conservar aún en los años de gloria, pronto le procuraban amigos. Se entregó con pasión al alpinismo; las majestuosas cimas coronadas con nieves sempiternas, Righi, Pilat y Matterhorn, el Eldorado de los turistas, lo atraían poderosamente. Acompañado por dos camaradas holandeses emprendió numerosas ascensiones que no siempre estuvieron exentas de peligro. Su perseverancia y habilidad sorprendían a menudo a sus amigos. A las queridas montañas de su juventud permaneció fiel toda la vida, y aun septuagenario fué un vigoroso alpinista. Otro de sus deportes favoritos, y que ya en Holanda practicara, fué el de la equitación. Zürich ofrecía para esta distracción pocas oportunidades; Röntgen, para compensarlo, alquiló un coche con cuatro caballos que él mismo conducía los domingos y los días feriados por las calles de la ciudad.

Cerca del Instituto Politécnico estaba el mesón *Al Verde Vaso*. Allí, al atardecer, Röntgen se reunía con sus amigos

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

y a veces con sus profesores. Prefería estas tertulias, que a menudo se prolongaban hasta horas avanzadas, a los *dancings* y bares frecuentados por la mayoría de los estudiantes. El propietario de la posada, Juan Godofredo Ludwig, era un hombre culto, a quien las excepcionales vicisitudes del destino —y no su inclinación— obligaron a aceptar su situación de mesonero. En su juventud había estudiado latín y griego en la Universidad de Jena. Complicado en los acontecimientos revolucionarios del año 30, huyó de Alemania a Suiza, país de asilo desde siempre para los refugiados políticos. Su negocio, aunque floreciente, no absorbía por entero la actividad de este hombre polifacético. Traducía las tesis doctorales de los estudiantes que debían, conforme a la antigua tradición, ser publicadas en latín.

Una vida estudiantil sin ningún romance amoroso sería algo así como un jardín sin flores. El joven Röntgen encontró, en la casa de Juan Godofredo Ludwig, a la niña que debió inspirarle un sentimiento profundo y durable. El posadero tenía tres hijas, todas ellas atractivas y simpáticas. La más ambiciosa e inteligente de las hermanas, Berta, seis años mayor que Röntgen, inflamó el corazón del estudiante. "Berta Ludwig —la bosqueja una de sus amigas ¹— era una joven de extraordinario encanto; alta y esbelta, con un guiño en sus ojos y una sonrisa en sus labios. Educada en un internado para niñas en Neufchâtel, adquirió con el trato de muchas gentes, en el negocio paterno, una sana y práctica filosofía de la vida."

Berta tenía varias rivales. El atrayente físico del estudiante, su prestancia varonil y deportiva, le procuraban fácilmente los halagos de la juventud femenina. A pesar de ello, Berta resultó victoriosa. Poco antes de obtener el diploma de ingeniero, Röntgen se comprometió con la joven tabernera. A sus padres no les agradó mucho al principio la elección del hijo, pero cuando conocieron a la novia dieron su consentimiento.

Un año y algunos meses después, cuando apenas le faltaba a



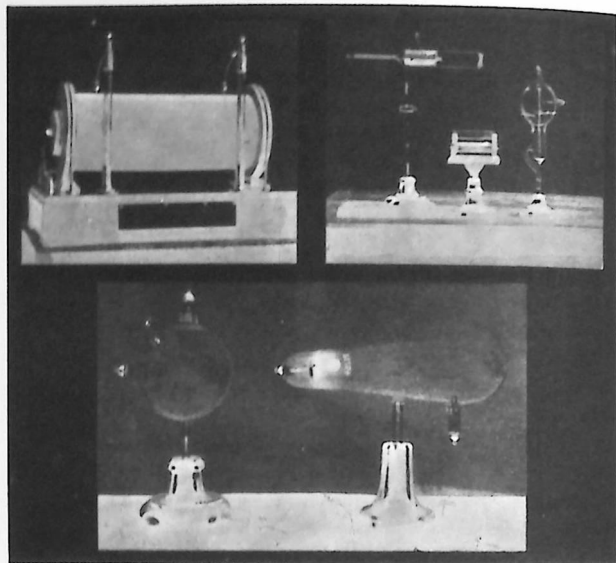
3. — Röntgen en su laboratorio

¹ Margarita Boveri, loc. cit.

Röntgen poco más de un año para la terminación de sus estudios en la Escuela Politécnica, se produjo un acontecimiento de gran trascendencia para la carrera de Conrado Guillermo. Tras doce años de ininterrumpida actividad, Clausius dejó Zürich, escenario de sus mayores triunfos, para ocupar una cátedra ofrecida por la Universidad de Würzburg. Si la presencia de Clausius en Zürich fué para la evolución científica del joven Röntgen de importancia decisiva, la partida del prestigioso profesor debió entrañar, gracias al encadenamiento del azar, consecuencias no menos profundas. A Clausius sucedió Augusto Kundt, tan espléndido experimentador como Clausius eminente teórico.

Al asumir el cargo, su primera preocupación fué la de instalar un gabinete de física, que hasta entonces no había existido en el Politécnico, ya que los cursos de Clausius podían desarrollarse sin demostración experimental.

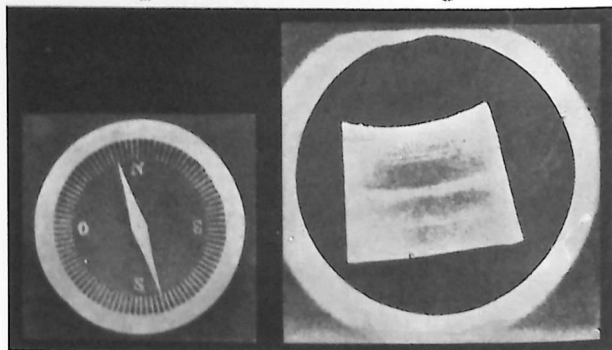
En el momento de ocupar la cátedra de su famoso predecesor, Augusto Kundt tenía 29 años. Sus ideas, siempre originales y a veces hasta atrevidas, además de su habilidad excepcional para el experimento, le habían granjeado, a pesar de su juventud, un lugar destacado entre los físicos alemanes, y justificaban la elección efectuada por el Consejo Académico del Instituto. La acústica, en especial, le debía al joven investigador valiosos aportes. Si en un tubo de vidrio en posición horizontal oscila la columna de aire que encierra, se producen, debido a la reflexión en las paredes, ondas estacionarias, y el polvo de licopodio, mezclado con el aire, se agrupa en diseños característicos, las "figuras de Kundt". El polvo es rechazado por los vientres de onda y se reúne en los nodos. Por ello permite determinar la longitud de onda y calcular la velocidad del sonido, ya que el número de las oscilaciones por segundo está inmediatamente dado por la altitud del sonido. Así, la apreciación de la nota musical del tubo, el viejo procedimiento de Chladni, Kundt la sustituye por la operación, más sencilla, de medir la distancia entre grupos de polvo. El ingenioso método dió la posibilidad de revisar un paradójico resultado



A

B

C



A. — Aparatos utilizados por Röntgen en sus experimentos, actualmente en el Deutsche Museum, en Munich: A) bobina de inducción de Ruhmkorff; B) tubos de Lenard; C) tubos de Hittorf-Crookes.

de las investigaciones de Regnault, el cual admitía que un sonido intenso, como un cañonazo, se propaga más rápidamente en el aire que otros menos intensos, como por ejemplo un pistoletazo. En las hábiles manos del espléndido experimentador, el método tuvo numerosas aplicaciones y condujo, entre otras cosas, a determinar de modo simple la velocidad de la propagación del sonido en los sólidos. En efecto, bastaba con introducir en un tubo cerrado una varilla de la sustancia sólida a estudiar; la columna de aire en el tubo oscila si se hace vibrar la varilla. Como ésta se halla fija en el centro, sus extremidades son vientres de vibración y la doble longitud de la varilla corresponde a la longitud del sonido más grave que puede emitir. Por otra parte, de las "figuras de Kundt" se deduce simultáneamente la longitud de onda del mismo sonido en el aire del tubo. El cociente de las dos longitudes de onda, da la relación de las velocidades del sonido en el sólido y en el aire; conocida la segunda, la primera puede ser inmediatamente calculada. Tales experimentos, lo mismo que los estudios de Kundt sobre la gráfica acústica de la llama, pertenecen hoy al repertorio clásico de los manuales; en el año en que Kundt inició su actividad docente en Zürich, acababan de ser publicados y discutidos en las memorias de la Academia Prusiana de Ciencias.

El joven profesor era natural de Schwerin, en la provincia alemana de Mecklenburgo. Entre los estudiantes, eran numerosos los alemanes, y no faltaron tampoco mecklenburgueses; dos de estos últimos, Besser y Albert —ambos amigos de Röntgen— conocían a Kundt desde hacía muchos años. Ellos le presentaron a su camarada. El encuentro fué decisivo para el porvenir del futuro investigador que, en esa época, dudaba si debía o no seguir la carrera de ingeniero práctico. Röntgen nunca olvidó lo que le debía a aquella afortunada oportunidad que lo llevó al gabinete de Kundt. Pocos meses antes de su muerte escribió a Albert: "El recuerdo de nuestra épica juventud, evocado en su carta, conmovió una sensible cuerda en mi corazón. En estos días Besser me visitó y charlamos largo

rato sobre los lejanos años de nuestra época estudiantil en Zürich. Usted, él y yo podemos estar satisfechos con lo que la vida que nos deparó, tanto más cuanto que en aquel tiempo el porvenir me parecía muy problemático. A ustedes debo el encuentro con Kundt, quien me introdujo en la física y disipó las dudas e incertidumbres que obscurecían mi porvenir". "Kundt —escribió Röntgen en otra carta— me preguntó un día cuáles eran mis proyectos para el porvenir. Cuando le expresé mi desconcierto, me aconsejó que me dedicara a la física. Al alegar mi escasa especialización en tal materia, respondió que eso podía ser remediado. En seguida comencé a experimentar y a estudiar en realidad física¹".

En contraste con el laboratorio de química, con su bien provisto instrumental y sus espaciosas aulas, el nuevo gabinete de física, alojado en los sótanos, disponía de muy escasos elementos. La habilidad de Kundt supo, sin embargo, sacar de un mínimo de recursos el máximo de rendimiento. Y encontró en el joven Röntgen un alumno entusiasta. Aunque el dominio experimental donde debió recoger sus magníficos éxitos le fué ajeno hasta la intervención de Kundt, su talento se manifestó pronto y acortó el tiempo de aprendizaje. Cuando un año más tarde, en el verano de 1868, se recibió de ingeniero, permaneció al lado de Kundt en el Instituto y preparó el doctorado. Su tesis, "Estudios sobre gases", fruto tanto de las enseñanzas de Clausius como de las de Kundt, fué aprobada por la Universidad de Zürich y Röntgen obtuvo, el 12 de junio de 1869, el título de doctor en Filosofía. Fué entonces cuando Kundt le propuso convertirse en su ayudante, lo cual fué aceptado con gran placer por Röntgen.

En la rigurosa jerarquía que impera en el ambiente de las universidades de habla alemana, la nube de autoridad que envuelve al profesor, a menudo orlado con pomposos títulos honoríficos, cuya gama puede llegar hasta "*Su Excelencia*", lo separa socialmente del ayudante. Sin embargo, este muro divi-

¹ Carta de Röntgen a Margarita Boveri, 12 julio 1919; loc. cit.

sorio no existía entre el físico de Zürich y su ayudante; el joven profesor, que sólo era seis años mayor que su asistente, fué a la vez el jefe y el amigo de Röntgen. Esta sólida amistad perduró siempre y sólo terminó con la muerte de Kundt, acaecida en 1894, justo un año antes del resonante triunfo de su genial alumno.

La relación cordial entre el profesor y el ayudante no impidió que existieran pequeños conflictos. El modesto laboratorio no disponía de mecánico, y, ayudado por Röntgen, el propio Kundt construía muchos de los aparatos, para en seguida rodearlos con una especie de amor paternal, que supo también inculcar a Röntgen. De ciertos instrumentos que había traído de Berlín y que le servían para sus delicadas experiencias espectroscópicas se sentía especialmente celoso. Con estos aparatos Kundt proseguía el estudio del espectro de las descargas eléctricas y, en particular, de las que en majestuosa escala ofrecen los relámpagos. Algunos evidenciaban líneas, otros bandas espectrales y presentaban, así, enigmas atormentadores para los físicos de la época. Kundt encerraba los preciosos espectrógrafos en un cuarto especial, al cual estaba prohibido el acceso a todos, hasta a su ayudante. La medida hería la vanidad de Röntgen, quien no la respetó. Un día Kundt lo sorprendió en el santuario, en medio de las joyas de su instrumental. Se suscitó una acalorada discusión, y por un momento pareció que Kundt perdería al mejor de sus discípulos. Felizmente la reconciliación no tardó en llegar. Con el tiempo, Röntgen sobrepasó a Kundt en el celo por sus instrumentos de precisión, y como temido jefe del Instituto de Física en Munich, fué para sus asistentes más duro que antaño Kundt lo fuera con él a este respecto.

La cuidadosa preparación de los experimentos, que el profesor realizaba en sus cursos, estaba a cargo de Röntgen, sin que absorbiera por completo su actividad. Guiado por Kundt, pisó, por primera vez, el campo de la investigación. Kundt, siempre fértil en ideas, acababa de hallar un método más cómodo y más seguro que los hasta entonces empleados para de-

terminar los calores específicos de los gases, bajo presión y volumen constantes. La relación de las dos series de magnitudes es de gran importancia para la teoría del calor, y precisamente esta relación fué la dada por el procedimiento de Kundt. Éste confió a Röntgen la tarea de realizar las medidas para obtener la relación aludida en el caso del aire. El trabajo llegaba paulatinamente a su fin, cuando se recibió en Zürich un carta del Consejo de la Universidad de Würzburg. Clausius, el disputado, había aceptado una invitación del famoso Instituto Físico de Bonn, y la Universidad de Würzburg ofrecía la cátedra vacante a Kundt. Además, la carta decía: "Puede usted, si así lo desea traer a su ayudante".

3. - Primeros obstáculos

Mientras Röntgen se despedía de su novia y Kundt se preocupaba de asegurar el transporte, de Zürich a Würzburg, de sus queridos y delicados instrumentos, más allá de las fronteras de la tranquila Suiza se preparaban graves acontecimientos históricos. El viejo rey de Prusia, Guillermo I, que curaba su gota en la idílica estación termal de Ems, desembarazóse con maneras elegantes del embajador francés, que fuera a verle a fin de saber si el monarca sostenía la candidatura de un príncipe Hohenzollern para el trono vacante de España. El episodio, de por sí insignificante, entrañaba graves consecuencias. Napoleón III, mal aconsejado, creyó que una guerra podría renovar el casi apagado brillo de su trono; ya hacía bastante tiempo que buscaba un pretexto, y el incidente de Ems se lo brindó. El tronar de los cañones en Alsacia anunció muy pronto que la época de relativa seguridad y paz, en la que Europa se regocijaba durante medio siglo, había terminado.

En la posada *Al Verde Vaso*, los acontecimientos mundiales dieron a las conversaciones estudiantiles un giro imprevisto. Las convicciones de los estudiantes alemanes chocaban vio-

lentemente con las de sus compañeros suizos, en su mayoría francófilos.

Las discusiones terminaban en agrias y apasionadas disputas. Azorado, Röntgen percibía el alboroto estudiantil ante el sonido de lejanas trompetas y tambores. Su corazón no latía ni por los prusianos ni por los franceses. Nada le unía a la tierra que dejara a los tres años, ni siquiera su carta de ciudadanía, ya que su padre al trasladarse a Holanda había renunciado a la de Prusia. El joven Röntgen oponía a las belicosas convicciones nacionalistas de los estudiantes su fe pacifista, y afirmaba que ningún patriotismo justificaba las sangrientas consecuencias de los conflictos armados. A sus ojos, la guerra era la más tremenda aberración colectiva del espíritu humano. Más tarde, en el otoño de su vida, cuando en 1914 Alemania incendió al mundo, Röntgen mantenía en verdad su profesión pacifista, pero perdió el imparcial juicio de su juventud sobre la no validez del nacionalismo exagerado.

En Würzburg pronto comprobó Röntgen que sus ideas pacifistas no eran compartidas ni por los profesores ni por los estudiantes. Con sorpresa se enteró de que su venerado maestro Clausius —casi cincuentenario— se había alistado en el ejército. El eminente físico prestó servicios como sargento en un cuerpo sanitario. Su actividad en el campo de batalla fué útil tanto a los heridos alemanes como franceses, y al finalizar la guerra —caso único— fué condecorado a la vez por las dos potencias, poco antes en conflicto.

El gabinete de física de Würzburg, alojado en un viejo edificio de la calle Neubau, estaba mal equipado. Su instrumental, inferior al del modesto laboratorio de Zürich, era motivo por parte de Kundt de continuos reclamos a las altas autoridades universitarias que se mostraban, sin embargo, poco dispuestas a acceder a las mejoras exigidas. Las investigaciones iniciadas por Kundt y Röntgen en Zürich sufrieron por esa causa un involuntario atraso. A las contrariedades de orden material se agregaron para Röntgen otras más graves, de orden moral: la desgraciada aventura holandesa, ya casi olvidada por

el joven asistente, le fué recordada en forma inesperada. La Universidad se negó a reconocer su título de doctor y le exigió que presentara el certificado de bachiller. En vano trató Kundt de ayudarlo a salvar esta situación. Los encargados de custodiar los estatutos de la Escuela se mostraron inflexibles. ¡Cómo admitir que alguien que no sepa latín y griego lleve un título académico! Los pedantes de Würzburg hubieran tolerado antes a un físico que ignorara la ley newtoniana que no los idiomas de Homero y Virgilio. Claro que les habría sido imposible concebir que un día, el nombre del joven asistente, que con tanto celo trataban de eliminar, ornaría, grabado sobre una placa de mármol, en letras de oro, la fachada del Instituto de Física de su Universidad. Por el momento, la situación de Guillermo Conrado era difícil. Los esfuerzos de Kundt se estrellaban contra una férrea resistencia, y Röntgen veía surgir en su camino el obstáculo que creía haber vencido. Felizmente, el giro de su destino no tardó en producirse; la ayuda vino de donde menos la esperaba.

El ejército de los príncipes germanos regresaba victorioso de Francia. La mano del Canciller de Hierro transformaba el mapa de la vieja Europa. La inofensiva Confederación de los Estados Teutónicos, grandes y pequeños, pasó a la historia: surgió el nuevo Imperio Alemán. Su creciente poderío militar y su dinámica expansión debían significar más tarde, en el siglo XX, una tremenda amenaza para la paz del mundo. El primer gesto de Bismarck, gestor de la unidad alemana, fué arrancar Alsacia a la maltrecha Francia y anexarla al Reich. Este acontecimiento, con sus consecuencias, intervino en el destino de Röntgen.

En la milenaria ciudad de Estrasburgo, capital de la provincia, los alemanes no sólo construyeron nuevos cuarteles, sino que también fundaron una nueva universidad, con institutos modernos, magníficamente instalados. La cátedra de física le fué confiada a Kundt, quien llevó consigo a su ayudante. La naciente escuela estaba libre de las trabas que imponen las rígidas tradiciones y Röntgen encontró un camino abierto

ampliamente para sus ambiciones. ¡A nadie se le ocurrió la singular idea de exigir al físico, cuyos sólidos conocimientos pronto conquistaron la estima de los estudiantes, exhibir su certificado del Liceo! Lo mismo que al llegar el alba se desvanece la pesadilla de una noche obsesionante, así se desvaneció el impedimento originado por su desventura juvenil.

Poco antes de trasladarse a Estrasburgo, el 19 de enero de 1872, Röntgen se casó con su adorada Berta Ludwig. La ceremonia se realizó en Apeldoorn, en la casa paterna del novio. Aunque Federico Röntgen no se opuso, el consentimiento no nacía de su corazón de viejo patriarca. Para él, su hijo debió elegir una rica heredera, y su descontento se manifestó prácticamente en la exigüidad de la mensualidad que asignó a la joven pareja. Como el sueldo de asistente representaba un ingreso irrisoriamente módico —no llegaba a los cien marcos mensuales—, Röntgen, acostumbrado a un buen pasar, vióse obligado a restringirse en los primeros años de su matrimonio. Las privaciones oscurecieron un poco el claro firmamento de su naciente felicidad. Sin embargo, la señora de Röntgen era una mujer de raras cualidades y supo hacer frente a las dificultades. “La pareja —escribe Margarita Boveri— alquiló un pequeño y modesto departamento. La joven tenía que hacer todo: cocinar, lavar y zurcir. Fué una excelente ama de casa, aunque su tarea no le resultara muy fácil, ya que Röntgen había gozado de los mayores mimos en su casa paterna y durante los años estudiantiles.” Las dificultades cesaron en 1874, al establecerse los padres de Röntgen en Estrasburgo para vivir con su hijo, reconciliados con la esposa.

Ni Kundt ni Röntgen tuvieron que arrepentirse de haber cambiado el gabinete de Física de Würzburg por el Instituto de Estrasburgo. Bismarck trató a Alsacia, y sobre todo a su capital, como un padre al hijo querido que vuelve después de larga ausencia al hogar. Las ventajas concedidas a Estrasburgo se ampliaron también al plano científico y permitieron a los institutos de la Universidad un rápido desarrollo, tornándolos iguales, cuando no superiores, a los de las grandes y afamadas

universidades del Imperio. Por fin Kundt disponía de todas las facilidades para completar sus estudios sobre los espectros de relámpagos y nada impedía a Röntgen llevar a cabo sus investigaciones, iniciadas en Zürich, sobre la relación de los calores específicos —el importante cociente C_p/C_v — que determinó para una serie de gases. Estos trabajos demuestran que Röntgen, a los veintiocho años, poseía ya las grandes cualidades que debieran distinguirlo durante toda la larga gama de sus investigaciones ulteriores: maestría experimental en la búsqueda de solución al problema y la crítica aguda que pulsa las fuentes del error y logra reducirlas a un mínimo. Por ello sus resultados evidencian una grave y bien definida seguridad. Las magnitudes físicas establecidas por Röntgen, desde las de sus primeros trabajos, adquirieron el rango de valores *standard*, y supieron en parte conservarlo —a pesar de las mejoras progresivas de los instrumentos de medición— hasta nuestros días.

Los méritos del joven asistente no tardaron en ser reconocidos; el 13 de marzo de 1874, después de haber pasado el examen prescripto, el último de su vida, fué aceptado como *Privatdozent* (profesor libre) de la Universidad de Estrasburgo. Con ello se abrió una carrera científica; una de las más extraordinarias del siglo XIX.

MARCHA HACIA LA CIMA

1. - *El joven experimentador*

RÖNTGEN tenía 25 años cuando publicó su primer trabajo y 50 cuando realizó su inmortal descubrimiento.

En el cuarto de siglo que medió entre los tanteos de sus comienzos y la culminación de su obra, enriqueció a la física experimental con una serie de importantes investigaciones que sorprenden por su singular variedad y polifacética abundancia. Ellas habrían hecho de Röntgen un eminente maestro de la ciencia, aun sin haber brindado a la humanidad el admirable don de los rayos X. Mucho antes de que el feliz hallazgo hubiera lanzado al modesto sabio desde su relativa oscuridad al engeguedor destello de la fama mundial, Röntgen poseía en los círculos científicos una sólida y bien cimentada reputación. Si sus cuarenta y ocho publicaciones anteriores al famoso descubrimiento no llevaron su fama fuera del ambiente académico, ello es debido a que pertenecen, salvo insignificantes excepciones, a la ciencia pura, sin prestarse a aplicaciones prácticas.

Lejos de toda preocupación utilitaria, Röntgen movióse desde su primer trabajo en los dominios de la investigación pura, sin otro objetivo que el conocimiento en sí, y le fué fiel durante toda su larga vida. Eligió la rama más ingrata en su especialidad: la medición exacta de importantes magnitudes físicas, *Präzisionsphysik*, como los alemanes la llaman; rama científica que no recompensa nunca a sus cultores con la popularidad y, en general, ni siquiera les asegura en la bibliografía científica un recuerdo perdurable.

Röntgen tenía conciencia clara de la ingratitud propia de los temas que apasionadamente cultivaba y a las cuales, a

pesar de todas las seducciones que se le presentaron después de su gran descubrimiento, guardó hasta el fin su cariño. En el discurso conmemorativo que pronunciara en la Academia de Múnich, con motivo de la muerte de Federico Kohlrausch, físico de genio semejante al suyo, expresó la resignación que impone al investigador una tarea destinada a rectificar los últimos decimales de magnitudes: "El físico que se dedica a labor tan ardua —decía Röntgen— debe estar seguro de que sus trabajos, tarde o temprano, serán sobrepasados en exactitud por otros. Con ello desaparece, sin dejar rastros, el recuerdo de la persona y de su actividad"¹. El destino de Röntgen desmintió en forma categórica sus propias palabras. Por conciliadora compensación, que implica casi una lección moral, justamente a él, representante típico de las pacientes y desinteresadas búsquedas de la física de precisión, le tocó realizar el célebre hallazgo y obtener una fama alcanzada por pocos físicos de su siglo y por ninguno sobrepasada.

Es seductor buscar las huellas de las futuras y magnas obras de los grandes espíritus en las hazañas de su iniciación. Numerosos físicos —Volta y Fraunhofer, Joule y Fresnel, Carnot y Meyer— hallaron en seguida en sus primeros tanteos el camino que debía conducirles en línea recta hacia la cima. Este no es el caso de Röntgen. En su época de Estrasburgo, que va desde 1873 hasta 1879, ni siquiera roza el dominio donde debió recoger su más resonante éxito. Aunque en 1874 y 1878 publicó dos trabajos sobre descargas eléctricas, éstos no incluyen los fenómenos de los rayos catódicos, que fueron poco antes —1869— objeto de los numerosos y decisivos experimentos de Hittorf. Pero lo mismo que en la geometría, en la evolución de un espíritu creador no siempre son forzosamente las rectas de Euclides las trayectorias más cortas. Si nada hace presumir en tan temprana época el género de su futuro hallazgo, por el contrario, en los trabajos estrasburguenses de Röntgen todo

¹ *Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der K. bayerischen Akademie der Wissenschaften, Schlussheft, 1910.*

muestra la plena posesión de las excepcionales cualidades que debieron permitirle, un día, realizar su descubrimiento.

Las quince publicaciones que sintetizan los resultados de su actividad junto a su amigo y maestro Kundt, revelan, al que sabe ver, innegables características del genio en maduración, una casi sonambulesca seguridad para abarcar de una ojeada todos los factores del problema, para eliminar de entre ellos todos los accidentales y perturbadores, para asir con certeza el factor esencial, y asirlo cuantitativamente gracias a un método de medición que no deja sin considerar cualquier error posible y a la vez sorprende por su sencillez y exactitud. Especulaciones e hipótesis, por seductoras que sean, son implacablemente expulsadas del sobrio proceder exclusivamente basado en hechos comprobados por exhaustivos experimentos y controlados mediante procedimientos para cuya invención Röntgen era incansable. Estas dotes de gran experimentador confieren ya a los trabajos ejecutados en Estrasburgo una solidez extraordinaria. En efecto, nunca en su vejez Röntgen debió cambiar siquiera una palabra publicada durante su juventud. Pocos son los hombres de ciencia que puedan afirmar lo mismo de sus obras. Desde sus principios, Röntgen consideraba a la física como "la ciencia de lo observable y de lo medible", casi medio siglo antes que el "círculo vienés" acuñara el famoso lema.

Las investigaciones efectuadas en Estrasburgo por Röntgen se refieren a los problemas más variados. Algunas, las de menores alcances, atestiguan que su autor, al preparar las demostraciones experimentales para los cursos de Kundt, solía introducir interesantes mejoras, ya fuera en los medios auxiliares de las experiencias, o bien en los mismos aparatos. Ideó un método para soldar tubos platinados y construyó un barómetro aneroide provisto de un espejo. La sensibilidad que el ingenioso dispositivo confería al instrumento era considerable. "Bastaba —cuenta Pablo Koch, alumno y más tarde ayudante a su vez de Röntgen— con abrir una ventana; la más ligera

brisa que penetrara hacía desviar el rayo indicador del aparato a todo lo largo de la pared del aula"¹. La maestría de Röntgen en la construcción de aparatos le hacía preferir, aun cuando tuvo mecánicos a su disposición, los simples instrumentos por él mismo ideados y ejecutados. "Es el único modo —afirmaba— de conocer y valorar los posibles errores del experimento y lograr eliminarlos." Su habilidad manual al par que su facilidad para inventar mecanismos hubieran hecho de Röntgen un gran ingeniero si otras aptitudes, más raras y valiosas, no le hubiesen encaminado hacia la investigación pura. Uno de los trabajos de esta época representa, sin embargo, una pequeña excursión —única en la carrera de Röntgen— en el dominio netamente técnico: la descripción de una "alarma telefónica" ideada por Röntgen y publicada por él en la famosa revista londinense *Nature*.

Estos pequeños hallazgos no son otra cosa que el producto accesorio de su actividad, que pertenece, por completo, a los problemas experimentales. La vasta escala de los temas que le atrajeron está expuesta en cuatro publicaciones, todas ellas de dominios tan distintos como la radiación solar, la elasticidad de la materia, fenómenos de capilaridad y descargas eléctricas en aisladores. Röntgen realizó la primera de estas investigaciones con Exner, joven físico también de dotes excepcionales. Para medir la cantidad de calor enviada por el Sol, en un minuto, a un centímetro cuadrado de la superficie terrestre —constante solar—, cuya determinación era por entonces un particular motivo de preocupación para los astrofísicos, Röntgen y su compañero recurrieron al viejo calorímetro de hielo, herencia del siglo XVIII. De este método supieron sacar el máximo de exactitud que era capaz de dar; el procedimiento fué sobrepasado diez años después, cuando Langley inventó el bolómetro, instrumento cuya gran sensibilidad rindió importantes servicios en la medición de radiaciones caloríficas.

¹ *Deutsches biographisches Jahrbuch*, 1930.

De mayor aliento es el estudio de Röntgen sobre los fenómenos capilares, que tuvo el mérito de aportar interesantes elementos a un problema muy discutido en la época. ¿Las fuerzas moleculares que intervienen en los fenómenos capilares actúan solamente a distancias infinitamente pequeñas? Tal fué la hipótesis básica admitida en su teoría capilar por el gran analista Laplace. Sin embargo, el físico alemán G. F. Wilhemy trató de demostrar, en 1863, la caducidad de la suposición, y el francés Plateau realizó una serie de hábiles experimentos para medir la esfera de acción de fuerzas moleculares. Soluciones jabonosas, con sus magníficos y múltiples colores de interferencia, le permitieron establecer que las fuerzas moleculares actúan a distancias finitas y mensurables; por consiguiente, Laplace parecía haberse equivocado. La conclusión provocó numerosas y animadas objeciones en las que influyeron los estudios de Röntgen. Sus experimentos sobre la tensión superficial de los líquidos aportaron novedosos argumentos y confirmaron la tesis de Wilhemy. Por último, el cuarto de los trabajos antes indicados estudia las descargas eléctricas en aisladores; con esto, Röntgen inicia investigaciones en un terreno que catorce años después habría de brindarle el notable hallazgo de la "corriente de Röntgen", descubrimiento que, a juicio del autor, en nada desmerecía a los rayos X. Sobre esta hazaña volveremos, al considerar los resultados obtenidos por Röntgen en los años pasados en Giessen.

Dos de los estudios realizados en Estrasburgo están dedicados a la física de los cristales, cuya belleza y armonía estructural atrajo poderosamente el interés del investigador desde su más temprana juventud. En Zürich, el azar quiso que cayeran entre sus manos los escritos de Bravais, aquel gran geómetra y pensador francés que fuera el primero en elucidar, con la antorcha de su poderoso espíritu, la íntima y oculta arquitectónica de los cristales: las moléculas cristalinas, supuso Bravais, estarían colocadas en los vértices de las distintas figuras geométricas que corresponden a los diferentes sistemas cristalinos; el conjunto de las moléculas así ordenadas presentaría

el aspecto de una red ultramicroscópica de mallas infinitesimales. La teoría de Bravais impresionó profundamente al estudiante. ¡Cuán lejos estaba de pensar en ese momento que serían sus rayos X los que aportarían un día, a la ingeniosa hipótesis, la prueba decisiva! Desde sus años estudiantiles los cristales fueron para él la corporización de las leyes de la naturaleza, de las cuales se propuso investigar los aspectos físicos. Esta predilección no fué una pasión pasajera, lo acompañó durante toda la vida, como lo demuestran sus numerosos estudios sobre las propiedades térmicas y eléctricas de los cristales. En una época, cuando su interés por los rayos X se había agotado hacía mucho, conservó el cariño hacia sus queridos cristales y en prueba de ello les consagró dos años antes de su muerte, su último estudio. De tanta fidelidad, los cristales —por así decirlo— se mostraron agradecidos: corrieron el último velo que cubría la naturaleza física de los rayos X.

La conductibilidad térmica de los cristales experimentada casi tres décadas antes por el mineralogista francés Senarmont, sugirió a Röntgen, en la época de Estrasburgo, una larga serie de experimentos. En algunos cuerpos cristalinos el calor se propaga en todas las direcciones, uniformemente; en otros, por el contrario, la isotropía no se verifica y la superficie definida por las distancias que el impulso calórico, partido de un centro dado, recorre en tiempo determinado, no es esférica. Senarmont descubrió esta diferencia mediante un procedimiento espectacular: separó delgadas láminas, según distintas direcciones, y las recubrió con una capa fina de cera. Cada lámina llevaba en el centro un pequeño agujero que permitía encajarla sobre un tubo cónico de plata. Una corriente de aire calentado, aspirada por el tubo, funde la cera y crea un campo en torno al agujero. En los sistemas cristalinos regulares el campo es circular y revela que la superficie isotérmica es esférica, mientras que en los otros sistemas —cuadrangulares y exagonales— la superficie isotérmica es elipsoidal. Por útiles que fueran los servicios del procedimiento de Senarmont, le faltó al principio una sensibilidad que obtuvo más tarde gracias a una simple

modificación introducida por Röntgen. Éste reemplazó la capa de cera por la de condensación del aliento, que se evaporaba al calentarse. De modo más decisivo que el método de Senarmont, las "figuras de aliento" (*Hauchfiguren*) demostraron que las superficies isotérmicas de los cristales corresponden, en general, a las superficies ondulatorias de la óptica cristalina.

En abril de 1875, a los pocos meses de publicar su estudio sobre los cristales, Röntgen fué invitado por la Academia Agronómica de Hohenheim para ocupar la cátedra de física. Aceptó, pero pronto tuvo que arrepentirse de su decisión. El aislamiento intelectual de la pequeña ciudad wurtemberguense, unido a la carencia de un laboratorio adecuado, convirtieron para él a Hohenheim en un verdadero destierro. Felizmente, Kundt no se olvidaba de su brillante alumno e hizo que su exilio no fuera duradero: en agosto de 1866 lo llamó a Estrasburgo como profesor suplente. Röntgen dióse cuenta de que había perdido dieciocho preciosos meses y trató de recuperarlos duplicando sus tareas de investigador.

Las publicaciones de Röntgen, que hasta aquí hemos considerado, atestiguan sin duda la originalidad de su espíritu y hacen honor a su habilidad excepcional como experimentador. Pero, no obstante ello, ninguno de los trabajos marca un giro decisivo en el tema a que está dedicado y ninguno aborda tampoco un problema de importancia primordial. De repente todo cambia: después del retorno a Estrasburgo, Röntgen comienza, en colaboración con Kundt, experimentos que completan, en un aspecto vital, la teoría de la luz y colman una sensible laguna dejada por el gran Faraday.

El descubrimiento de Kundt y Röntgen, desarrollado en tres memorias que corresponden a los años 1878-79, prolonga, históricamente, el encadenamiento de los hechos que condujeron al pensamiento físico, desde los experimentos de Faraday, hasta la teoría maxwelliana de la luz. En efecto, la íntima relación entre el electromagnetismo y la luz, relación intuida por Faraday, obtuvo su primera confirmación cuando el ilustre inglés logró demostrar la rotación que sufre el plano de

polarización de la luz en el campo electromagnético. Habían ya fracasado los experimentos efectuados con docenas de sustancias cuando, en septiembre de 1845 —año del nacimiento de Röntgen—, se le ocurrió a Faraday poner un cristal de borato de plomo, su famoso vidrio pesado, entre los polos de un fuerte electroimán. Hizo atravesar al vidrio por un rayo de luz polarizada para después examinarlo con la ayuda de un analizador: el vidrio no fué asiento de ninguna acción; pero cuando Faraday cerró el circuito del electroimán, el campo oscuro producido por las turmalinas cruzadas del analizador se volvió claro y no se oscureció de nuevo más que cuando el experimentador giró hasta un grado adecuado el analizador: la rotación del plano de polarización del rayo luminoso estaba comprobada.

¿Solamente pertenece a los sólidos el poder de hacer girar el plano de polarización? Faraday, y más tarde el alemán Wiedemann y el francés Verdet, plantearon la cuestión y lograron demostrar que la corriente magnetizante confiere también a los líquidos poder rotatorio. Faltaba aún extender la prueba a los gases; pero todos los esfuerzos de Faraday para provocar el fenómeno en los medios gaseosos fueron inútiles, y sus numerosos sucesores tropezaron con el mismo silencio de los hechos. Parecería que era menester aceptar la conclusión improbable y contraria a la teoría de que las sustancias pierden, en estado gaseoso, su facultad rotatoria, o bien resignarse a la insuficiencia de los medios disponibles, demasiado débiles para ofrecer efectos observables.

Por fin, en manos de Röntgen y Kundt, el delicado problema recibe su solución. Los gases, a semejanza de los sólidos y de los líquidos, giran, en el campo magnético, el plano de polarización del rayo luminoso que los atraviesa. Röntgen y Kundt no se contentaron con demostrar la existencia del efecto, lograron medirlo. Por supuesto, el dispositivo que pusieron al servicio de sus investigaciones, a la vez más poderoso y más sensible que el de sus predecesores, les permitió aplicar altas presiones y eliminar las influencias perturbadoras que des-

pistaron las búsquedas anteriores. Primero experimentaron con vapor de sulfuro de carbono, luego extendieron las observaciones a una serie de gases y hallaron, que el oxígeno, hidrógeno, metano, óxido de carbono y aire, eran positivamente rotatorios, pues hacen girar el plano de polarización en el sentido de las corrientes magnetizantes. Por último, los dos experimentadores establecieron cuantitativamente la influencia de la intensidad del campo y de la densidad del gas, sobre el curso del fenómeno.

Las tres memorias que sintetizan los resultados obtenidos en las investigaciones atrajeron la atención de los dos físicos más famosos de la época, Helmholtz y Kirchhoff, sobre el joven colega, que con sus treinta y cuatro años se había revelado como un maestro del arte experimental, comparable a los mejores de su tiempo. Röntgen no se hubiera atrevido a esperar tal éxito. Considerábase suficientemente recompensado con la gran satisfacción que le brindara la solución del problema. Esta vez, sin embargo, intervino un acontecimiento que le dió una prueba elocuente del aumento de su fama.

El físico H. Buff, catedrático de la Universidad de Giessen, murió repentinamente en las navidades de 1878. La Facultad designó como sucesor a Toepler, sabio de muchos méritos, que enseñaba física industrial en Dresden. Antes de decidirse, el Consejo de la Universidad se dirigió a Helmholtz y a Kirchhoff para solicitarles su opinión. Ambos recomendaron a Röntgen.

El primero de abril de 1879, Röntgen fué nombrado profesor titular de la Universidad de Giessen.

2. - *Profesor en Giessen*

No le resultó fácil a Röntgen despedirse de Estrasburgo: sus primeros éxitos, el principio de su ascendiente carrera, su querido maestro Kundt, los años de felicidad matrimonial, todo le ataba a esa ciudad. Sin embargo, más rápidamente de lo que

hubiera pensado se introdujo en el nuevo ambiente. En la pequeña Giessen, donde los profesores formaban una clase más cerrada que en la pretenciosa capital alsaciana, el matrimonio logró rodearse pronto de cordiales amigos: el cirujano Krönlein, que ya conociera en Zürich con motivo de un pequeño accidente sufrido en los Alpes suizos, los profesores von Hippel, Guffki, y otros. Los pintorescos alrededores de la ciudad, con sus románticas montañas y bosques, lo reconciliaron, a él, el sempiterno amigo de la naturaleza, muy pronto con el cambio.

Por supuesto, el magnífico laboratorio de Estrasburgo faltaba en la Universidad de Giessen. En un modesto anexo a la casa de Buff, su predecesor, estaba instalado el gabinete de física, provisto de escasos y anticuados aparatos. Tras un año de afanosa lucha, Röntgen logró conseguir un instituto más amplio y un instrumental más adecuado. Sus deberes docentes eran aquí mucho más estrictos y le exigieron más tiempo que en Estrasburgo: cinco horas de clase por semana y seis de trabajos prácticos, que solía, caso raro en un profesor titular, vigilar personalmente.

Investigar y enseñar son dos cosas bien distintas; las cualidades que exigen, lejos de ser complementarias, a veces parecen excluirse. Genios creadores como Laplace, Berzelius, Gauss, Maxwell, van T'Hoff y Einstein, han sido profesores mediocres y han considerado sus deberes docentes como pesadas cargas. Cuando les era posible, algunos se liberaban con placer de sus cátedras, Röntgen no profesaba ese típico desagrado del genio hacia la enseñanza. En rara síntesis reunió a la vez las condiciones de investigador y maestro, logrando conservar un ardor juvenil para las tareas de la enseñanza hasta la vejez. Para él, formar alumnos y despertar vocaciones no desmerecía en nada la búsqueda de las recónditas leyes de la naturaleza. Los cursos que anualmente se repiten, opinaba, son también útiles para el investigador, ya que le imponen la obligación de revisar de tanto en tanto los conocimientos básicos de su especialidad. Con el mismo cuidado que caracterizaba a sus

investigaciones, preparaba sus lecciones universitarias. Su exposición era de claridad ejemplar; cuidadoso siempre de la esencia de su objeto, evitaba en la medida de lo posible los largos desarrollos matemáticos. Agregando año tras año nuevos detalles y nuevas demostraciones a sus clases, llevaba siempre a sus oyentes hasta el más reciente estado de los problemas tratados. A este principio de variar cada año su curso, permaneció fiel durante toda su larga carrera docente, que se prolongó durante casi medio siglo. Lo mismo que en sus memorias, en sus conferencias también desdénaba los medios fáciles del estilo florido. La ausencia de toda retórica y aun de toda imagen espectacular, hacía algunas veces su exposición sobria y austera, capaz de ahuyentar a los curiosos que se introdujeron en gran número, en los años de gloria, entre el auditorio del famoso profesor.

No era éste, por cierto, el caso en Giessen, donde el público de sus cursos se componía de un reducido núcleo de estudiantes de física, cuyo número no sobrepasaba la cincuenta. Pero más tarde, en Würzburg y sobre todo en München, cuando el portentoso éxito de su hallazgo atraía en cantidad creciente a los oyentes, el aula magna de la Universidad apenas lograba contener a todos los que deseaban escuchar las palabras del gran físico. Verdaderas refriegas se desarrollaban en los accesos del Instituto. Pronto el temporal se apaciguó: los curiosos, entre ellos muchos médicos con escasos conocimientos físicos, se descorazonaban ante la aridez intencional de las clases, donde cada palabra era sopesada y calculada. Idéntico era el criterio de Röntgen frente a la palabra hablada o la impresa: semejantes a sus publicaciones, sus conferencias decían más bien poco que mucho, y cansaban pronto a los aficionados de la ciencia fácil. Pero, a aquellos que llegaban con debida base a sus clases, pronto se les abría el rico contenido y el profundo sentido de su enseñanza. "La física —afirmaba Röntgen— es una diosa severa que sólo acuerda sus favores a quienes la solicitan con perseverancia". (Citado por Hock en *W. C. Röntgen, "Zeitschrift für technische Physik"*, 1923.)

Tan claro como el de sus exposiciones fué el lenguaje de sus experimentos; poseía la elocuencia que le faltaba a las palabras del maestro. Sus demostraciones experimentales que formaban el núcleo esencial de las clases, preparadas con gran minuciosidad aun en sus más pequeños detalles, resultaban de una seguridad casi absoluta. En esto, Röntgen no desdeñaba tampoco los efectos un tanto teatrales y se sentía, detrás de su enorme mesa de experimentación, en el papel de señor indiscutido de los aparatos, cuyo complicado juego le obedecía infaliblemente. Más aún que en Estrasburgo, el gran investigador se dedicó en sus años de Giessen y Würzburg a idear dispositivos sencillos que permitieran realizar instructivas y espectaculares demostraciones de leyes físicas en la sala de conferencias. A este fin, más pedagógico que científico, dedicó numerosas publicaciones. Varios de estos mecanismos se utilizan todavía en la enseñanza de la física.

Röntgen se sintió unido en una relación casi personal con sus queridos aparatos. Trataba a los sensibles instrumentos de medición, cuyo cuidado fué motivo de continuas preocupaciones, lo mismo que si fueran seres dotados de alma e intelecto. "Parece —decía Hertz, refiriéndose a las ecuaciones marwellianas— que las fórmulas matemáticas de la física saben más que sus creadores." Röntgen, cambiando las espirituales palabras de su genial colega, les atribuyó esta superioridad a los instrumentos de precisión: "Los galvanómetros Thomson o los electrómetros de cuadrantes son más inteligentes que los seres humanos" ¹. A pesar de dar él, como experimentador nato, preferencia en sus investigaciones al testimonio de los instrumentos y no, como lo quería Hertz, a la evidencia de las fórmulas, no desconocía la importancia de la ayuda fundamental que las matemáticas prestan al físico. "La formación del físico, decía Röntgen a sus discípulos, exige tres cosas: matemáticas, matemáticas y matemáticas" ¹. Esta convicción no le impedía, sin

¹ Hock, loc. cit.

² Sommerfeld: *Röntgens 70 Geburtstag, Physikalische Zeitschrift*, 1915.

embargo, renunciar dentro de lo posible, en sus búsquedas, a la ayuda de las matemáticas: a semejanza de los trabajos de Faraday, al que admiraba más que a ningún otro maestro del pasado, las publicaciones de Röntgen tienen muy pocos símbolos matemáticos.

El mismo cariño que él prodigaba al instrumental de su Instituto, lo exigía de sus asistentes. En este aspecto era de una implacable, casi cruel severidad: un buen día despidió a uno de sus más capaces ayudantes, el doctor Kowalewsky, al enterarse que durante el invierno guardaba los aparatos en una pieza sin calefacción, cuya temperatura podía resultar perjudicial a los delicados instrumentos. Esta y otras reacciones semejantes desparramaron el rumor del irascible carácter de Röntgen y de la deplorable situación en que se hallaban sus asistentes. La "falta de cariño" por los instrumentos fué también el punto débil que originó numerosos conflictos entre Röntgen y su fiel ayudante y colaborador doctor Zehnder, físico de polifacético talento, que sobrepasó en su habilidad para construir aparatos hasta a su mismo maestro.

Una extraña y sugestiva casualidad fué la que en la montañosa Suiza puso en relación a Röntgen y Ludovico Zehnder. En la pintoresca y veraniega Pontresina, lugar en que Röntgen solía pasar sus vacaciones durante los años de Giessen, recibió un día la visita imprevista de un tal ingeniero Zehnder que venía de Basilea para solicitar su ayuda. En su vida existía un conflicto parecido al que antaño amargara la juventud estudiantil de Röntgen: excluido del Liceo y sin bachillerato, había adquirido también el diploma de ingeniero en el Politécnico de Zürich. La profesión práctica no le satisfacía y estudió, física guiado por Helmholtz en la Universidad de Berlín; por no tener hecho el bachillerato se le cerraron las puertas para la carrera académica. La analogía sorprendente de las dificultades de Zehnder con las que él tuviera que vencer, lo decidieron a intervenir. Zehnder fué admitido para doctorarse en la

Universidad de Giessen y pronto, en 1887, se convirtió en asistente de Röntgen.

El extraño paralelismo entre ambos destinos no se detiene aquí: como el profesor Kundt para su asistente Röntgen, el profesor Röntgen para su asistente Zehnder, realizó en Würzburg repetidos y estériles esfuerzos para domeñar los antiguos prejuicios y conseguir para su protegido el modesto cargo de profesor libre. Una verdadera odisea llevó más tarde a Zehnder de una universidad alemana a otra, hasta que en Suiza, la Universidad de Basilea le ofreció una cátedra al brillante experimentador. Una íntima amistad, que perduró hasta la muerte de Röntgen, unió a los dos hombres. Su correspondencia, publicada por Zehnder, es un rico venero para conocer la personalidad y la vida de Röntgen.

Por consciente que fuera Röntgen en el cumplimiento de sus deberes docentes, no le fué nunca infiel a su gran pasión, que era la investigación pura: dieciséis memorias publicadas durante los ocho años de su actividad en Giessen lo testimonian. La influencia de su maestro Kundt, dominante en sus opúsculos de Estrasburgo, se desvanace paulatinamente en Giessen y acaba por desaparecer completamente. Antes que despunte la época de Würzburg, el momento de la gloriosa hazaña, su espíritu alcanza en plena originalidad y madurez y le lleva a efectuar un hallazgo que en su carrera sólo será sobrepasado por el descubrimiento de los rayos X.

En las investigaciones físicas con frecuencia se suelen hallar cosas diferentes a las buscadas. El ejemplo de Röntgen lo prueba. Descubrió unos rayos que ni siquiera podía buscar ya que nadie había sospechado su existencia; por el contrario, no pudo encontrar el efecto Kerr, cuya existencia —clara exigencia de la teoría— era patente, y que Röntgen persiguiera inútilmente a través de docenas de experiencias en sus años de Estrasburgo. El físico inglés Juan Kerr, en Glasgow, fué más afortunado; mientras Röntgen, en 1877, realizaba infructuosos ensayos, su rival inglés demostró que la luz polarizada en línea recta sufre una rotación del plano de polarización, al ser

reflejada en el espejo formado por un polo magnético. Este fenómeno magnetóptico, entrevisto por Faraday y buscado por Röntgen, se denomina efecto Kerr. A la discusión del interesante hallazgo, Röntgen dedicó su primer trabajo de Giessen y contribuyó, sin duda, a propalar el conocimiento del fenómeno entonces novedoso, sin lograr, sin embargo, explicarlo. Cuatro años después, la interpretación fué dada por el imprescindible Kundt; este mostró que el misterio se aclara admitiendo que, durante la reflexión, la luz penetra un poco en la sustancia reflectora.

A Röntgen le agradaba variar sus objetivos, pero algunos de ellos lo atraían con creciente fuerza. Mal recompensado en sus esfuerzos por el efecto Kerr, vuelve —podría decirse para consolarse— a sus queridos cristales, de los que estudia en cuatro de sus memorias de Giessen las propiedades térmicas y eléctricas. Si se calientan desigualmente algunos cristales —cuarzo, turmalina, topacio y otros—, manifiestan en los dos extremos electricidades opuestas. Este fenómeno, la piroelectricidad, conocido desde los comienzos del siglo XVIII, encontró un imprevisto complemento en la piezoelectricidad, descubierta en la primera década del siglo XIX por el mineralogista francés Haüy, al observar que los cristales piroeléctricos son susceptibles de electrizarse por compresión o dilatación. Röntgen sometió la piro y piezoelectricidad del cuarzo a un detenido estudio y demostró que la naturaleza del calentamiento influye sobre la potencia eléctrica y la distribución de la carga en el cristal. Röntgen afirmó que la piroelectricidad es producida por tensiones elásticas en los cristales y se reduce a la piezoelectricidad. La electrización por presión correspondería a la termoelectricidad por enfriamiento, mientras que la electrización por dilatación equivaldría a la termoelectricidad por calentamiento. Ambas, piro y piezoelectricidad, sólo serían dos aspectos de un mismo fenómeno. La afirmación de Röntgen fué refutada por Kundt originando vivas discusiones entre el maestro y el discípulo. La controversia concluyó mucho después de muerto Kundt, con un epílogo tardío, al volver Rönt-

gen, en su vejez, sobre el problema, y estudiar a fondo las características físicas de la turmalina con objeto de apoyar su teoría.

Medios muy simples bastan a veces para elucidar cuestiones aparentemente complejas. ¿Absorbe el vapor de agua los rayos calóricos? Dos autoridades, el físico berlinés Gustavo Magnus y el investigador inglés Juan Tyndall, sucesor de Faraday en la Real Institución de Londres, no estaban de acuerdo sobre la respuesta. Sus encontradas opiniones se tradujeron en apasionadas controversias. Röntgen construyó un simple pero sensible termómetro de aire y comprobó que el aire húmedo, expuesto a la irradiación de un mechero de Bunsen, se calienta más que el aire seco; por consiguiente, el vapor de agua absorbe el calor. Con las dos memorias que describen sus experimentos, el problema fué definitivamente resuelto. En otra serie de trabajos, Röntgen investigó las múltiples influencias de la presión sobre la fricción interna —la viscosidad— del agua, y la compresibilidad de los líquidos y los sólidos. La última de sus publicaciones de Giessen está fechada en 1888. Entretanto, el arte experimental de Röntgen había penetrado en un terreno, poco explorado por sus predecesores, en el que su sagacidad debía realizar hallazgos de mayor importancia que los logrados en sus búsquedas anteriores.

La teoría electromagnética de Maxwell ocupaba entonces el primer plano de interés entre los físicos: seductora por la poderosa síntesis de las interacciones eléctricas y magnéticas que sus mágicas ecuaciones ofrecían, pero intrigante por los opacos razonamientos que formaban el camino hacia sus sencillas conclusiones. El sagaz escocés asimilaba en su teoría la corriente eléctrica al correr de un fluido incompresible, análogo al agua de un río, y extendía la validez de la comparación a los fenómenos en que intervienen aisladores dieléctricos. Si se carga, por ejemplo, un condensador, la corriente, sin detenerse en la placas conductoras, circula también —afirmaba Maxwell— en el espacio adyacente y engendra en el dieléctrico un nuevo género de corriente —la corriente de desplaza-

miento—necesaria e inseparablemente ligada al movimiento de la electricidad. Las corrientes de desplazamiento consisten en movimientos de cargas dentro de los dieléctricos provocados por fuerzas eléctricas. En suma, lo esencial del fenómeno se produce en el dieléctrico, sede de dichas corrientes de desplazamiento; esta exigencia de la doctrina maxwelliana asombra a la mayoría de los físicos, originando grandes discusiones.

La teoría de considerar a la corriente como transporte de electricidad, involucraba la consecuencia de que una carga eléctrica electrostática en rápido movimiento, produciría el mismo efecto magnético que una corriente y podría desviar una aguja imantada. El importante paralelismo parecía susceptible de control y era un desafío a la habilidad de los experimentadores. Helmholtz incitó a su discípulo norteamericano Enrique A. Rowland —uno de los pocos que en seguida asiera los alcances de la teoría maxwelliana— a emprender la tarea. Sobre un disco de ebonita, cuyo borde estaba recubierto por una capa de oro, Rowland aisló una carga eléctrica e hizo girar rápidamente al disco colocado entre dos placas de cristal. Sus esperanzas no fueron vanas: una sensible aguja magnética suspendida encima del disco trazó un ángulo medible. Así, el transporte mecánico de la carga evidenció un efecto magnético, idéntico al de una corriente de conducción, igualándolo, como Rowland comprobara, tanto en intensidad como en dirección. El claro testimonio de la experiencia había demostrado un importante postulado de la teoría.

Cuando en 1876 —tres años después del trabajo fundamental de Maxwell— Rowland obtuvo el resonante éxito, no comprobó otro problema, más profundo y más delicado, que era el complemento de su hermoso experimento. Se había contenido con demostrar que un conductor cargado y en movimiento engendra un campo magnético. Pero pasó por alto la cuestión inmediata a su experimento: si era verificable que un dieléctrico móvil en un campo eléctrico origina fuerzas electrodinámicas T , como exige la teoría de Maxwell. Extraño resultado que doce años transcurrieran sin que ningún físico inten-

tara, por lo menos, realizar la contrapartida de la experiencia de Rowland. Sólo Röntgen, lejos de Berlín y de Cambridge, centros donde se discutían las ideas maxwellianas, se propuso la cuestión y la resolvió.

El ínfimo efecto que se proponía descubrir requería un dispositivo de sensibilidad excepcional; muy complejo en su realización práctica, el principio del aparato era simple¹. El dieléctrico, una placa de cristal, encajada sobre el eje de una turbina, giraba entre las dos placas cargadas de un condensador. Si la teoría era cierta, la débil corriente producida en el dieléctrico rotatorio debía traducirse por los movimientos de una aguja estática suspendida libre de vibraciones, y debidamente protegida contra influencias perturbadoras. Las desviaciones de la aguja encerrada en un tubo metálico en cuyo interior reinaba el vacío, podía observarse con ayuda de un espejo y de una poderosa lupa. Como era dable esperar, tras algunas tentativas infructuosas, el efecto no tardó en manifestarse: la aguja se desvió. Una vez obtenido, el delicado fenómeno presentóse siempre en todas las repeticiones del experimento. El sentido del movimiento de la aguja evidenció su dependencia de la dirección de las líneas de fuerza del campo eléctrico. A la inversión de la rotación del dieléctrico la aguja respondió con modificaciones de su desviación. No cabían ya dudas de que la corriente engendrada en el dieléctrico móvil, la corriente Röntgen, como más tarde la llamara Enrique Antonio Lorentz, era una realidad física.

La magistral presentación del efecto extremadamente débil, previsto por la teoría de Maxwell —tarea considerada como casi utópica— eleva el arte experimental de Röntgen a la cumbre que sólo alcanzara una vez más en su carrera. Advirtió, sin excepción, todas las múltiples y complejas influencias que podían enmascarar o perturbar el sutil fenómeno buscado y supo, en la realización técnica de su experimento, eliminarlas en for-

¹ Röntgen: *Durch die Bewegung eines im homogenen elektrischen Feld, etc.: Sitzungsberichte der Kgl. preussischen Akademie, 1888.*

ma tan completa que el efecto, por débil y escondido que estuviese, forzosamente debía manifestarse y aún más, hacerse accesible a la medición. Es verdad que en el siglo XIX no escasean los experimentadores geniales, pero pocos poseen la triple síntesis de la perspicacia lógica, del espíritu inventivo y de la maestría manual de Röntgen. Sus émulos se encuentran solamente entre los más grandes: Volta, Ampère, Fresnel, Faraday, como predecesores; Joule, Fizeau, Kelvin, Michelson y Hertz, entre sus contemporáneos.

Con el descubrimiento de la corriente en los dieléctricos móviles, Röntgen se adelanta a su tiempo. El hallazgo, juntamente con el fenómeno Rowland, da una prueba decisiva de la teoría electrónica de la materia, que en la época de su hazaña estaba en sus balbucesos y que hoy día está en la base de la física moderna. En efecto, si los dieléctricos en movimiento se revelan, en el experimento de Röntgen, como asientos de corrientes, es porque su materia, como toda sustancia, lleva cargas eléctricas. Las propiedades dieléctricas de los cuerpos se explican por la presencia de estas cargas, los electrones. Röntgen se daba cuenta de los alcances de su trascendental experimento: "Para la mentalidad de Röntgen —escribe el conocido físico y amigo de éste, Sommerfeld— es característico que apreció más que los rayos X, este descubrimiento que pocos saben apreciar. La superioridad de las dificultades experimentales a vencer y la profundidad conceptual, hicieron que lo prefiriera a todos sus demás hallazgos".

En efecto, con mayor evidencia que su obra magna, la investigación de la corriente Röntgen revela el clarividente y poderoso espíritu del gran físico. Mientras su famoso descubrimiento lo presenta como a un maestro del arte experimental, título con el que quedó en la historia, los problemas ocultos de los que supo asir su íntima relación con la corriente Röntgen, lo revelan como un eminente pensador teórico, título que la historia omitió concederle.

Los razonamientos que el descubrimiento sugirieron a Röntgen, lo llevaron a un terreno donde se hallaban, en

aquel tiempo, los límites de la investigación física y le abrieron nuevas perspectivas en el país inexplorado de la ciencia futura. Al efectuar el experimento para comprobar la corriente en dieléctricos móviles, Röntgen se planteó la cuestión —plena de significado— de si la corriente de éter que pasa, a causa del movimiento de la Tierra, por las placas de su condensador, se revela por un efecto magnético. No se detuvo en la mera pregunta, sino que emprendió inmediatamente con el condensador, que tan bien le sirviera para buscar la corriente en los dieléctricos, una serie de nuevas experiencias. Dejemos a Röntgen la palabra: "De sumo interés sería saber si el medio en que tiene lugar la polarización dieléctrica, interviene totalmente en el movimiento de la materia ponderable, o si se comporta de la manera que Fresnel suponía para el éter luminoso. En realidad, las perspectivas que el problema abre son demasiado seductoras para no emprender los experimentos que podrían brindar soluciones. Sin embargo, hasta ahora todos mis esfuerzos han sido vanos".

La alternativa vislumbrada en las palabras de Röntgen, alternativa que trata de decidir, marca la bifurcación fatal, en la que dos decenios más tarde la nueva física, la de la relatividad, se debía separar de la antigua, de la física clásica. ¿El éter está en reposo o es arrastrado por los cuerpos sumergidos en él? Si es arrastrado, ¿lo es por completo o, como pensaron Fresnel y Fizeau, sólo parcialmente? Estos intrigantes problemas de los que Röntgen reconoce la importancia básica, se tradujeron en su experimento del condensador por la pregunta: ¿el efecto magnético es proporcional a ϵ , la constante dieléctrica del ambiente, como lo exige la hipótesis del éter móvil, o es proporcional a $\epsilon - 1$ como lo postula la suposición del éter inmóvil? En realidad, la decisión del crucial dilema, movilidad o inmovilidad del éter hipotético, debió forzosamente escapar a los alcances de los instrumentos de medición, fueran ellos los espejos e interferómetros de Michelson, o los condensadores rotatorios de Röntgen. La solución estaba fuera del alcance de las posibilidades inherentes a la física clásica, que

había llegado precisamente con este problema al límite de sus recursos. La escapatoria al dilema no podía ser hallada mientras se mantuviera el axioma falaz del carácter absoluto del espacio y del tiempo. A pesar de ello, el mérito de Röntgen al penetrar con sus experimentos hasta las fronteras de lo hasta entonces explorable es incontestable. En 1888, en una época en que el futuro padre de la teoría relativista, Alberto Einstein, era un niño de nueve años, en una época en que el tratado revolucionario de Enrique Antonio Lorentz ¹ todavía era una sorpresa del porvenir, Röntgen toca los últimos problemas de la óptica y de la electrodinámica, y transfiere atrevidamente la sutil alternativa de la interacción entre el movimiento de la Tierra y el éter del dominio de la óptica al de la electrodinámica. Sin duda, si Röntgen no se hubiese limitado demasiado exclusivamente al arte experimental, en el que se sabía un maestro; si en sus razonamientos y deducciones no hubiera renunciado a la ayuda de las matemáticas —poderosa palanca del pensamiento en su ascensión hacia las altas regiones de la teoría—, es probable que su intelecto excepcional hubiera cumplido en la física teórica hazañas comparables con las de sus brillantes éxitos experimentales.

El gran año de 1888, al que se debe el descubrimiento de la corriente Röntgen y el de las ondas electromagnéticas por Enrique Hertz, aportó al físico de Giessen la prueba de que su creciente fama acababa de atravesar las fronteras de Alemania. La Universidad de Utrecht le ofrecía la cátedra de física; Holanda trataba de recuperar al hijo perdido. "Vuestras publicaciones, escribió el Consejo de la Facultad, muestran el extraordinario poder de vuestro intelecto y la sorprendente originalidad de vuestras ideas." Con tales lisonjeras palabras la Universidad de Utrech trataba de ganar un profesor que año a año se negara a admitir como alumno. ¡Cuántos recuerdos de

¹ H. A. Lorentz: *Versuch der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern* (Fenómenos eléctricos y ópticos en cuerpos móviles), publicado en 1895.

bió despertar la carta hodandesa! Nada por cierto atraía a Röntgen al teatro de su desventura juvenil. Como por un azar singular, pocas semanas después de la carta de Utrech, recibió otra invitación que, esta vez, no pudo eludir.

Kundt, el famoso, había dejado Estrasburgo para continuar, en la primera universidad de Alemania, en Berlín, su ascendiente carrera. Su sucesor en Estrasburgo fué Federico Kohlrausch, afamado representante de la "física de precisión" y, como Röntgen, gran maestro de las mediciones exactas. Sus investigaciones fundamentales habían elucidado los complejos fenómenos del movimiento de los iones en los electrolitos, y le llevaron al primer plano de los físicos alemanes. Su plaza vacante en Würzburg reclamaba un digno sucesor. Y éste no podía ser otro que no fuera Röntgen.

3. - Röntgen en Würzburg.

La vieja Universidad, cuatro veces secular, cuya fundación se remontaba hasta el medioevo, era el orgullo de los habitantes de Würzburg, celosos guardianes de las tradiciones de su hermosa ciudad. Si a los ojos de los würzburguenses la venerable escuela aparecía como una corona simbólica —resplandeciente en la cabeza del patrono de la capital de la Baja Franconia—, el Instituto de Física brillaba como una valiosa gema de esta corona. Su variado instrumental, su magnífico anfiteatro para conferencias, sus amplios laboratorios, reunían a la vez las exigencias de los tiempos modernos con las reminiscencias de la historia, por ser el *alma mater* de Würzburg una de las primeras de Alemania donde la física encontró un hogar. Ya a fines de la época galileana enseñaba física en Würzburg el erudito jesuíta Atanasio Kircher, hábil inventor de la linterna mágica y prolífico autor del famoso libro *Arte magno de la luz y de la sombra*¹, en el que describió sus experiencias que tanto

¹ *Ars magna lucis et umbræ*, publicado en 1647.

asombraron a sus contemporáneos. Pero ni siquiera el más sorprendente de los fenómenos que explica en su obra resulta comparable a la culminación del "arte magno de la luz" que dos siglos y medio después su lejano sucesor, Guillermo Conrado Röntgen, debía lograr en la misma Universidad donde antaño profesara el docto Padre.

La Universidad asignó al nuevo director de su Instituto de Física un sueldo muy superior al que éste recibiera en Gies-sen. Un departamento señorial con nueve habitaciones estaba a su disposición, rodeado por un magnífico parque, cuyas rosas y tulipanes encantaban a la señora de Röntgen. La pareja se complacía en reunir en su casa a los amigos que, por cierto, no escaseaban en Würzburg. El zoólogo Boveri, el botánico Sachs, el filólogo Hitzig, los médicos Stöhr, Kunkel y Kölliker, integraban el círculo. El lugar de las reuniones era el salón central, adornado con cuadros de Schwind y Spitzeweg, pinturas que certificaban el gusto delicado del dueño de casa. Un gran piano ocupaba un rincón de la sala; pues aunque ni Röntgen ni su mujer ejecutaban ningún instrumento, eran grandes entusiastas de la música, y las tertulias tenían con frecuencia un carácter musical. La señora de Röntgen era dueña de una agradable y cultivada voz; la acompañaba al piano el profesor Boveri, tan hábil intérprete de Mozart y de Schumann como sabio expositor de la teoría de los cromosomas. La pasión de Röntgen por las bellezas naturales fué compartida por sus amigos, y en las vacaciones el círculo de Würzburg se solía trasladar, más o menos completo, ya fuera a Pontresina, en medio de las queridas montañas de Röntgen, o en Caddenabia, a orillas del lago de Como. A veces, estos viajes llegaron aún más lejos, a Nápoles, y aun hasta el Cairo en Egipto. Enemigo de toda estrechez, Röntgen prefería también en sus distracciones una amplitud señorial, a menudo costosa, y estimaba que estas giras le daban fuerzas y energías para el paciente trabajo de investigación. Los largos viajes —preparados de antemano y emprendidos con todas las comodidades y casi siempre en compañía de los amigos— le ofrecieron el mejor de los descansos.

Ayudado por el asistente de Röntgen, Zehnder y el físico Kempke, el médico militar Sehrwald fué el primero que entendió la dura tarea. Como modelo eligió un mozo de 14 años, en el cual una primera prueba prometió que sus huesos serían bien visibles en la imagen. Los tres compañeros comenzaron por tomar el tórax poniendo a su modelo casi en contacto con el tubo. La radiografía resultó bien, pero el joven cayó algunos días más tarde enfermo. La región de la piel que había estado cerca del tubo mostraba una mancha roja. ¡Fué el primer caso de quemadura con rayos X! El mozo se curó al cabo de algunas semanas, pero divulgó el caso por un diario, los tres amigos se vieron en dificultades para procurarse un segundo modelo. El proyecto del atlas hubiera fracasado si el doctor Sehrwald, médico militar y hombre de recursos, no hubiese conseguido que dos soldados de la guarnición de Freiburg recibieran la orden de ponerse a su disposición. Todo fué bien, hasta el momento de llegar al cráneo. Este, con el aparato de Zehnder, exigía una hora de exposición y ninguno de los soldados era capaz, aun acostado, de mantener tanto tiempo su cabeza en reposo. El más heroico de los tres compañeros, Kempke se ofreció para acabar la obra. El atlas, aunque pronto sobrepasado por otros trabajos similares, fué la principal atracción del congreso de naturalistas que se reunió en agosto de 1896 en Zúrich.

La desgracia del joven quemado por los rayos X durante el experimento del doctor Sehrwald, no fué por mucho tiempo un caso aislado. El error, compartido por el mismo Röntgen, de que los efectos fisiológicos de los rayos serían despreciables cuando no nulos, parecía dispensar a los radiólogos, en los primeros meses que siguieron al descubrimiento, de adoptar precauciones. El rápido perfeccionamiento de los tubos generadores y de los procedimientos fotográficos, que permitieron acortar el tiempo de exposición, reduciéndolo primero a algunos minutos y después, a fines de 1897, a segundos, disminuyó considerablemente los peligros para los pacientes, pero continuaron subsistiendo para los röntgenólogos. Carentes de

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

experiencia, los médicos no sabían graduar correctamente las cantidades de rayos, ni determinar con suficiente exactitud su penetrabilidad. Para evaluar ambas magnitudes, acudieron al grado de brillo de la pantalla fluorescente, o a la intensidad del ennegrecimiento de la placa fotográfica. Incautamente, interpusieron simplemente la mano entre el tubo y la pantalla para controlar la calidad de la radiación. Este modo primitivo de comportarse ocasionó en numerosos casos peligrosas quemaduras, y la confianza, prematuramente concedida a la inocuidad de los rayos, terminó por costar la vida a algunos de los iniciadores de la radiografía. Las primeras víctimas fueron el médico norteamericano Walter James Dood, en Boston, que sufrió graves quemaduras en ambas manos, y el asistente de Edison, doctor Dal, quien murió, en 1904, después de muchos sufrimientos. Hacia mediados del 1896, el röntgenólogo Marcuse, de Berlín, llamó la atención de sus colegas sobre los peligros que los amenazaban y recomendó insistentemente la adopción de medidas de protección. Éstas, aunque adoptadas poco a poco casi por la generalidad, no pudieron preservar a varios de los iniciadores de un trágico destino. La lista de mártires es larga, y se extiende mucho más allá de la edad heroica en la radiografía: muchos de los que se creyeron curados sucumbieron diez, y aun veinte años más tarde, a consecuencia de las quemaduras sufridas en el fatal año de 1896, víctimas del insidioso cáncer causado por los rayos X. El propio Röntgen escapó, podríamos decirlo, casi milagrosamente, al peligro. Como ya dijimos, había realizado casi todos sus experimentos dentro de una cámara oscura formada por una gran caja de zinc, en cuyo interior los rayos del tubo generador solamente penetraban por una ventanilla de aluminio. Röntgen adoptó este dispositivo para poder fotografiar y observar la pantalla fluorescente con mayor comodidad, sin darse cuenta de que las espesas paredes de la caja le protegían a la perfección contra las amenazas de los rayos.

En los primeros días del descubrimiento Röntgen dudaba de si los rayos podrían mostrar en el interior del cuerpo otra

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

cosa que no fuera el esqueleto o materiales extraños incrustados en los tejidos. Pero pronto se volvió menos escéptico. En su conferencia dada el 23 de enero en la Sociedad físico-médica de Würzburg, expresó la esperanza de que se lograrían hacer visibles los diferentes órganos del cuerpo humano, aunque hasta ese momento no hubiera sido posible, pues los rayos no arrojaban sombras apreciables en la imagen radioscópica o fotográfica. El optimismo de Röntgen se justificó a los pocos meses. Con el mejoramiento de los procedimientos fotográficos aparecieron sobre la placa las sombras perceptibles del corazón y de los pulmones; sin embargo, el estómago y los intestinos continuaron siendo invisibles. Las cosas cambiaron cuando W. Becher, a fines de marzo, en Berlín, introdujo una solución de sales de plomo en el estómago y en los intestinos de un cobajo que acababa de morir. En efecto, los contornos de esos órganos se dibujaron con nitidez en la radiografía. Bastaría, aseguró entonces Becher, hacer llegar al estómago del paciente una solución que sea a la vez inofensiva para el organismo humano y opaca a los rayos X, para producir sobre la placa o la pantalla una sombra del estómago. Con la feliz ocurrencia de Becher, casi de inmediato puesta en práctica, el camino para resolver el problema estaba indicado. Se ensayó una serie de sustancias para dar finalmente la preferencia —hacia 1900— al sulfato de bario o de bismuto, que se convirtieron con el tiempo en los medios clásicos. Mientras tanto, el doctor Schwald había examinado numerosas sales metálicas, mostrando que el grado de su transparencia ante los rayos no dependía del peso molecular del compuesto, sino del peso atómico de los elementos constitutivos.

Con anterioridad a los experimentos de Becher, dos investigadores, Lindenthal y Haschek en Viena, lograron hacer visibles las venas de la mano de un cadáver, gracias a la inyección de una mezcla de cal, cinabrio y petróleo. Igualmente en Viena, en la clínica del famoso profesor Neusser, los físicos Eder y Valenta, fotografiaron cálculos biliares a través de un hígado de cuatro dedos de espesor. El tiempo de exposición

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

requerido para tal éxito era demasiado largo y excluía, por lo tanto, una aplicación inmediata en el hombre vivo, que no se logró hasta el año 1905.

Mayor sensación que estas interesantes experiencias —por el momento más bien de valor teórico— causaron dentro y fuera de los círculos médicos, las primeras radiografías de la dentadura humana. W. König en Francfort y W. J. Morton en Nueva York mostraron, en abril de 1896, que los rayos diseñaban sobre las películas colocadas en la boca sombras netas de los dientes y de las partes vecinas de la mandíbula, permitiendo observar detalles innaccesibles a todo otro método de la diagnosis odontológica. En ese mismo mes, los hermanos Williamson, en Boston (EE. UU.), lograron localizar radiográficamente cuerpos extraños en el ojo de un paciente. Así, antes que hubiera transcurrido medio año desde el descubrimiento de los rayos, la radiografía abrió en los más variados dominios de la diagnosis médica novedosos e insospechados senderos.

En las experiencias de Röntgen las placas fotográficas y las pantallas fluorescentes se complementaron y, naturalmente, los primeros röntgenólogos acudieron a la vez al servicio de ambas, desarrollando paralelamente los procedimientos radiográficos y radioscópicos. La imagen fotográfica posee, sin duda, la ventaja de revelar más detalles, de permitir un estudio más detenido, es susceptible de ser guardada para comparaciones ulteriores; ventajas que faltan a la imagen fluoroscópica, que nace con la actividad del tubo y se desvanece con la interrupción de la radiación. Pero en cambio, la pantalla fluorescente evidencia el movimiento de los órganos. Extraordinaria fué la sensación que se produjo el 3 de junio en la sesión de la Sociedad Fisiológica de Berlín, cuando el famoso fisiólogo Du Bois-Raymond mostró la imagen fluoroscópica de la acción del corazón, del diafragma y del estómago humanos. "No olvidaré nunca —escribe uno de los espectadores, el eminente röntgenólogo Levi Dorn— la profunda emoción que me embargó al ver por vez primera sobre la pantalla latir

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

el corazón y el ascenso y descenso del diafragma durante la respiración" ¹. El perfeccionamiento de los tubos, unido a las pantallas más sensibles, permitieron desde los comienzos del año siguiente, 1897, reconocer sobre la pantalla tumores y áreas calcificadas en el pulmón. ¡Qué modestos aparecían, comparados con el poder revelador de los rayos de Röntgen, los antaño glorificados progresos: la percusión de Auenbrugger y la auscultación de Laennec! No eran más que simples tanteos en la oscuridad, frente a la observación de la luz y de la sombra.

El movimiento no quedó durante mucho tiempo como un privilegio exclusivo de las imágenes fluoroscópicas. En el mismo año que Röntgen descubrió los rayos, los hermanos Lumière inventaron la cinematografía. Antes de que transcurrieran doce meses desde el día en que Röntgen realizó la primera radiografía, el doctor Mac Intyre, en Glasgow, realizó la primera tentativa cinematográfica con los rayos X. Su procedimiento consistía en filmar las sombras producidas por los rayos X sobre la pantalla fluorescente. Su primera película, muy admirada, mostró los movimientos de una pata de rana. El primitivo método de Mac Intyre fué pronto mejorado aprovechando el rápido desarrollo de los métodos cinematográficos. Sin embargo, la "röntgen-cinematografía" no llenó las pletóricas promesas concebidas por su inventor en el febril año de 1896. Casi todos los notables sucesos de la radiografía y la radioscopia fueron obtenidos sin el concurso de los medios cinematográficos.

Observaciones accidentales —tales como las quemaduras de la piel sufridas por los primeros röntgenólogos o sus pacientes— fueron las que atrajeron, como hemos ya referido, la atención de los médicos sobre los efectos fisiológicos de los rayos X. La piel es la puerta de acceso para los rayos en el cuerpo, y los daños que ella sufre hicieron presumir que, lo mismo que ella, también otros órganos son sensibles a la in-

¹ *Zeitschrift für technische Physik*, 1923, pág. 286.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

fluencia de los rayos. La experiencia no tardó mucho en confirmar la suposición y mostrar la intensa y a veces peligrosa acción de los rayos, entre otras, sobre las glándulas sexuales, los tejidos linfáticos, y los glóbulos blancos de la sangre. Estos hechos originaron la hipótesis de si los rayos X, a semejanza de algunos venenos, no podrían también ejercer una acción curativa. Desgraciadamente, las primeras experiencias no animaron a los investigadores. Su fracaso se explica: por una parte los medios técnicos a disposición de los iniciadores eran modestos e incompletos, por otra parte las esperanzas, alentadas por los éxitos de los rayos en otros dominios, eran desmesuradamente exageradas.

¿Poseen los rayos un efecto bactericida? El problema fué planteado inmediatamente después del descubrimiento. Pero las experiencias realizadas sobre cultivos de micrococos, bacilos del ántrax, estreptococos y bacilos de Koch, en Alemania, Inglaterra y en los Estados Unidos por numerosos röntgenólogos, tuvieron resultados negativos. Tampoco los experimentos de Berton en Francia, Gormani en Italia, que ensayaron el efecto de los rayos sobre bacilos de difteria en caldos de cultivo, obtuvieron éxito. Morton irradió cultivos de vibriones de cólera y bacilos de tifoidea, sin obtener mayor éxito que los investigadores antes citados. Los resultados aparentemente alentadores de Lortet y Genond, que inocularon cultivos de bacilos de Koch a conejos y los trataron con rayos X, no recibieron su confirmación ni en Alemania ni en Inglaterra, donde se repitieron las experiencias en 1896-1897.

Estos fracasos, y otros cuya enumeración podría prolongarse indefinidamente, hicieron que a pesar del éxito en algunos casos aislados—por ejemplo en el tratamiento de los carcinomas estomacales—, la mayoría de los médicos, y entre ellos los más prominentes, se negaron a creer, en los primeros tiempos que siguieron al descubrimiento de Röntgen, en la utilidad terapéutica de los rayos X. Previnieron sobre su empleo, convencidos de que los efectos terapéuticos no podían ser producidos sin causar al paciente considerables daños. A este respecto es

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

instructiva la historia del médico vienés doctor E. Freund, uno de los iniciadores de la radioterapia en un dominio donde inmediatamente consiguió indiscutible éxito.

La observación efectuada por varios radiólogos de que ellos o sus pacientes perdían los cabellos a consecuencia de las irradiaciones, sugirió a Freund la idea de emplear los rayos para combatir el crecimiento superfluo y enfermizo del pelo. El primer paciente tratado fué una niña afeada por un enorme lunar piloso. La intención de Freund de realizar el tratamiento en el hospital de la Universidad chocó con la oposición del jefe del Instituto fisiológico, profesor Exner, que consideró el proyecto completamente insensato, y le negó el permiso para emplear los aparatos. El director del Instituto de investigaciones fotográficas, doctor Eder, era menos pesimista y el joven doctor Freund pudo comenzar su trabajo. "Freund—relata Eder— irradió a su pequeña paciente una decena de días, a razón de dos horas diarias. Cierta vez, estaba yo en mi laboratorio cuando se abrió de golpe la puerta y, sin ser anunciado, el doctor Freund irrumpió, presa de gran excitación, en mi cuarto y, empujando delante de sí a la pequeña, gritó: «¡Herr director, los pelos han desaparecido!» Era verdad; sólo quedaba sobre el cuello de la niña una pequeña mancha circular, secuela de la irradiación. Fué la primera y exitosa prueba experimental del efecto biológico, y simultáneamente la primera aplicación afortunada de los rayos X con fines terapéuticos" ¹.

La desconfianza ante la utilidad terapéutica de los rayos era tan profunda que cuando Freund presentó el caso a la Sociedad médica de Viena, no encontró más que incrédulos. Los dermatólogos presentes en la sesión quedaron atónitos y uno de ellos, al examinar con detención a la niña, afirmó categóricamente la imposibilidad del caso, sosteniendo que era un engaño.

El escepticismo hacia los servicios que los rayos debían prestar, mitigando los sufrimientos humanos, se disipó poco a poco. Pero la edad heroica, cuya historia registramos en este capítulo,

¹ Glasser, loc. cit., pág. 302.

de los tres años consecutivos al descubrimiento, años que vieron el nacimiento y vertiginoso desarrollo del radiodiagnóstico, no brindó más que débiles y muy inseguras contribuciones a la fundación de la röntgenoterapia.

Los primeros röntgenólogos no limitaron el campo de sus investigaciones únicamente al estudio del cuerpo humano. Muy pronto utilizaron el nuevo instrumento aplicándolo a la zoología y a la botánica. Las radiografías de los esqueletos del *Cameleon cristatus* y del pez abisal, *Christiceps argentatus*, tomadas en Viena por Eder y Valenta, en la misma semana en que Röntgen publicó la memoria sobre su descubrimiento, representan probablemente los primeros pasos dados en ese vasto dominio. Algunos meses después Lemoine analizó en los *Comptes Rendus* de la Academia de París los múltiples provechos que la zoología podía sacar del estudio con los rayos X de esqueletos de animales vivos, y llamó también la atención sobre los servicios que los rayos podrían prestar a los paleontólogos. Entre tanto, A. Schober, en Alemania, estudió la acción de los rayos sobre la germinación de las plantas y C. Maragoni, en Italia, sometió huevos y larvas de insectos a la influencia de la radiación X. Por cierto, estas últimas investigaciones no fueron más que tanteos, pero con ellas los buscadores pisaron, ya en tan temprana época, el camino que debió llevar durante el siglo xx a la genética moderna a efectuar descubrimientos transcendentales.

Tan inmediata como la utilización de los rayos en la cirugía, fué su acceso a varios dominios técnicos e industriales. La observación hecha por Röntgen en su primera memoria de que las radiografías revelan eventuales defectos en la estructura íntima de láminas metálicas, dió el primer indicio para una importante aplicación práctica. Dada la tendencia de los germanos a adaptar en seguida las conquistas científicas a fines militares, no es sorprendente que el Ministerio de Guerra de Berlín fuera el primero en darse cuenta de los servicios que los rayos —al descubrir grietas en las placas de acero para corazas— podrían prestar para mejorar el equipo del ejército alemán.

La industria no tardó mucho en seguir el ejemplo. En 1898 se instalaron en Alemania y en los Estados Unidos, los primeros laboratorios especializados en el examen röntgenológico de materiales. Sin embargo no alcanzaron su verdadera importancia hasta la primera década de nuestro siglo, cuando el rendimiento poderosamente aumentado de los tubos comenzó a permitir la iluminación de chapas relativamente espesas de metales pesados, y, por otra parte, cuando la gran sensibilidad de las películas y pantallas permitieron observar detalles minuciosos de la estructura íntima de la materia. Por supuesto, los metales no fueron durante mucho tiempo el objeto exclusivo de esos exámenes; pronto abarcaron los más variados materiales, cuya extensa gama llega desde los aisladores de porcelana y materias fibrosas, hasta las diversas categorías de sustancias vitreas.

Otra aplicación, igualmente nacida en los primeros meses que siguieron al descubrimiento, tuvo también su base en los experimentos del mismo Röntgen. Las sombras que arrojan las perlas genuinas y las piedras preciosas iluminadas por los rayos X evidencian diferencias con las de perlas artificiales y piedras falsas. Algunas perlas artificiales cuyo examen no permite distinguirlas de las naturales, se pudieron reconocer gracias al método radiográfico, elaborado por el röntgenólogo alemán W. König. Por su parte, el físico norteamericano D. C. Miller y el mineralogista austríaco C. Doelter sometieron la transparencia de los diamantes, esmeraldas, topacios y otras piedras, al examen radiológico, creando una escala *standard*, que desde entonces ha prestado valiosos servicios.

La distinción entre lo genuino y lo falso, revelada por los "rayos miríficos", no se limitaba únicamente a las perlas y las piedras: con tanta certeza y con mayor rapidez que el análisis químico, los rayos X revelan —gracias a las distintas transparencias de los diversos elementos químicos— la falsificación de los alimentos. Esta última posibilidad de aplicación era esperada después de conocidas las propiedades de los rayos y por ello no sorprendió a nadie. Sin embargo, causó sensación, cuando W. König logró mostrar que los rayos permiten distinguir las

clásicas telas de los viejos maestros, de las copias, por fieles que éstas fuesen. Casi simultáneamente B. Hicks demostró en Londres que una mano criminal había borrado de un testamento los nombres de los herederos verdaderos, reemplazándolos por otros. El raspaje, invisible para la lupa, apareció con nitidez en la radiografía. El testamento sirvió como *corpus delicti* en un proceso e inauguró de esta manera, en el otoño de 1896, la admisión de los rayos X como un instrumento de prueba ante los tribunales. Poco después, el Banco del Estado de Rusia adoptó la radioscopia para el examen de valores sospechosos, y en Suiza, las autoridades aduaneras hicieron ensayos para aumentar mediante el empleo de rayos X, en determinados casos, la eficacia del control.

La extraordinaria riqueza de las afortunadas aplicaciones que los rayos encontraron en un lapso sorprendentemente breve desorientó un tanto a la opinión pública, inclinada a creer, en tratándose de rayos X, las cosas más descabelladas. Como la pila de Volta nueve decenios antes, el tubo de Röntgen dió origen, en los años que siguieron a su descubrimiento, a esperanzas y afirmaciones fantásticas. Edison habría logrado devolver la vista a ciegos con rayos X —anunciaron periódicos americanos—, provocando esa noticia un entusiasmo infundado. El rumor, también propagado por los diarios norteamericanos, de que los metales viles, convenientemente irradiados, se transformarían en oro, encontró muchos crédulos y provocó un fugaz renacimiento del viejo sueño de los alquimistas. Los partidarios del espiritismo creyeron llegado el momento de radiografiar el cuerpo astral del hombre y demostrar así su realidad física. La "fotografía de lo invisible" abrió un vasto campo a sus experimentos imaginarios. En dos exposiciones, en Londres y en Munich, se pudieron ver en el otoño de 1896 numerosas fotografías de pretendidos fantasmas, tomadas en sesiones espiritistas gracias a los rayos X.

Por otra parte, el descubrimiento de Röntgen provocó también temores risibles. El diputado Reed, del distrito electoral de Sommerset Country, en los Estados Unidos, propuso a la

asamblea legislativa la votación de una ley que prohibiera el uso de los rayos X en los gemelos de teatro¹. Las confusas ideas que reinaban entre el gran público en torno al procedimiento para tomar radiografías hicieron surgir toda clase de extraños escrúpulos. La policía imperial de Viena negó el permiso para una demostración pública con los rayos; en la puritana Inglaterra, una agrupación de clubs femeninos, reclamó a las autoridades medidas para proteger a la juventud de los peligros morales de "la nueva fotografía", y una casa de modas de Londres ofreció a las damas ropa interior a prueba de rayos X.

6. - Placeres y amarguras de la fama

I awoke one morning and found myself famous. Al igual que Lord Byron, autor de estas palabras, Röntgen también al despertar una mañana encontró célebre. Desconocido antes de su descubrimiento, fuera de los círculos científicos, el modesto profesor se vió de la noche a la mañana colocado bajo la engeuecedora luz de la fama mundial. ¡Él, que nada aborrecía más que la publicidad con sus ruidosos acompañamientos, se halló repentinamente en el foco de la curiosidad del mudo entero! El Instituto de Física, de la pequeña ciudad de Würzburg, se convirtió en la meta de centenares de reporteros y fotógrafos, plaga que no permitía a Röntgen cruzar el parque de la Universidad sin ser enfocado por una batería de aparatos. El gran anfiteatro del Instituto no bastaba ya para dar cabida al gentío que venía, no a escuchar, sino simplemente a ver al famoso hombre, y en las puertas de la sala se desarrollaban verdaderos tumultos. ¡Nunca la tranquila Universidad había vivido días parecidos!

Un diluvio de títulos honoríficos, diplomas y condecoraciones, cayó sobre el descubridor. La Sociedad Real de Londres le otorgó una de sus más altas distinciones, la medalla Rumford,

¹ Glasser, loc. cit., pág. 44.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

la Academia prusiana y bávara lo nombró miembro, la Academia vienesa le brindó el Premio Baumgartner, la de París el Premio Lacaze, la Academia de Roma le envió su placa de bronce, la Sociedad médica de Nueva York, las Universidades de Würzburg, Giesen y Zürich le entregaron diplomas, la Municipalidad de Lennep, su ciudad natal, le confirió la ciudadanía de honor. El Emperador de Alemania le concedió la *Kronen*, Orden prusiana, el Rey de Italia le hizo comendador, el Príncipe Regente de Bavaria le otorgó la Real Orden de la Corona. ¡Todo esto en el decurso de pocos meses! La enumeración de las academias, universidades, sociedades físicas, médicas, filosóficas, y corporaciones científicas de otra índole, que más tarde le otorgaron títulos honoríficos, medallas y distinciones, llenaría varias páginas. Sólo dos entre los investigadores del siglo xx tuvieron a sus plantas coronas de laurel en tanta abundancia: María Curie y Alberto Einstein.

Tal afluencia de gloria y popularidad parecía al mismo Röntgen inconcebible. "¿Cómo ocurrió todo esto? —escribió al doctor Zehnder—. A veces creo soñar. De los homenajes que me fueron brindados usted no puede darse ni siquiera una idea. Estoy tan harto de los agasajos, que en lugar de agradecerlos cortésmente, quisiera contestar con groserías" ¹. Ésas no eran meras palabras; en la medida que pudo, Röntgen eludió los honores. Declinó presidir el Congreso Nacional de los físicos y naturalistas alemanes que se reunió en Francfort durante el otoño de 1896, y rechazó la invitación del Parlamento alemán que deseaba homenajearle en una sesión solemne. Por supuesto, al Príncipe de Baviera no podía devolverle la condecoración, pero sí lo hizo con el título de nobleza implícito a la Orden que le fuera conferida.

En oposición al Príncipe bávaro, el Emperador Guillermo II no se contentó únicamente con honrar al ilustre físico; quiso también ver al descubridor y al descubrimiento. Röntgen se presentó, pues, el 13 de enero en el palacio imperial de Berlín,

¹ Carta al doctor Zehnder, 22 mayo, 1896, loc. cit., pág. 112.

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

se ilustró con una serie de experimentos, en presencia de la familia imperial, el valor de los rayos X. Conforme al deseo del Emperador, Röntgen acompañó sus demostraciones con una breve conferencia. Tanto las sencillas palabras, con las que Röntgen expuso su gran descubrimiento, como la extraordinaria personalidad del modesto profesor, causaron una profunda impresión sobre el monarca. Guillermo II ordenó más tarde que se le erigiese una estatua a Röntgen en Berlín. El escultor tuvo que esforzarse en convencer al sabio para que posara como modelo. Solamente cuando llegó de la Cancillería la nota oficial expresando que era deseo de Su Majestad ver en una plaza pública de la Capital la imagen marmórea del descubridor, abandonó Röntgen su resistencia. El monumento —la primera entre las numerosas estatuas que le fueran consagradas en los diversos países del mundo—, representa al físico genial con un tubo catódico en la mano, y adorna, si la guerra no la ha destruido, el puente de Potsdam en Berlín.

La interminable serie de honores acabó por convertirse para Röntgen en una pesadilla, y después de soportarla durante dos meses, resolvió huir de las fiestas, los admiradores y visitantes, con una fuga a Italia. "¡Qué felicidad, escribió el 21 de febrero a Zehnder, poder dejar medallas, condecoraciones, laureles y rayos X, para descansar como simple mortal en Italia!" A pesar de ello, postergó el viaje hasta el 9 de marzo, día en que envió al presidente de la Sociedad físico médica de Würzburg su segunda memoria sobre los rayos X.

La segunda memoria de Röntgen, al igual que su primer trabajo, es tan concisa en la forma como de impecable exactitud en su contenido. ¡Bajo qué enorme tensión tuvo que haber ejecutado, entre las perpetuas excitaciones de aquellos febriles días, los experimentos que apuntalan su memoria! A modo de disculpa, en la introducción de su trabajo, indica las numerosas interrupciones que sufrieron sus investigaciones. Sin embargo, y a pesar de ello, los resultados no son menos fundamentales. Los rayos X, comprueba Röntgen, descargan a los cuerpos electrizados en el aire, sea su carga positiva o negativa. El proceso

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

es tanto más rápido, cuanto más intensos son los rayos; resulta indiferente que los cuerpos electrizados sean conductores o aisladores. Si el conductor electrizado, en vez de hallarse rodeado por el aire, lo está por un aislador sólido, la radiación ejerce la misma acción que cuando se expone la envoltura aisladora a una llama conectada a tierra. Además, el aire atravesado por los rayos X adquiere el poder de descargar cuerpos electrizados al ponerlos en contacto con él, de modo que resulta posible descargar cuerpos electrizados sin exponerlos a los rayos, sumergiéndolos en el aire antes expuesto a la acción de la radiación. Al igual que el aire, añade Röntgen, otros gases, como por ejemplo el hidrógeno, también tienen la propiedad de ionizarse en contacto con los rayos.

Estos resultados, esbozados en el escrito de Röntgen con pocas palabras, son de un gran valor práctico. En efecto, una vez reconocida la propiedad que tienen los rayos de descargar cuerpos electrizados y de ionizar el aire, debió surgir espontáneamente la idea de utilizar estas propiedades para determinar la intensidad de los rayos y su penetrabilidad a través de las diferentes sustancias. Las múltiples tentativas para medir la cantidad y cualidad de los rayos —mediante ayuda del efecto fotográfico o fluoroscópico— eran hasta la publicación de la segunda memoria de Röntgen tanteos más o menos inciertos. Con el descubrimiento del poder ionizador, fácilmente accesible a una determinación exacta, Röntgen dió una base firme a la dosimetría de los rayos.

No menos importantes para el desarrollo técnico de los tubos, son los resultados ulteriores de la memoria de Röntgen. Después de someter al examen una larga serie de sustancias, comprobó que, excitadas por el bombardeo catódico, eran capaces todas de engendrar rayos X. Es indudable que las diferencias cualitativas en el comportamiento de los cuerpos son sensibles: el platino es una fuente de radiaciones más ricas que, por ejemplo, el aluminio. La consecuencia práctica se impone, y Röntgen no dejó de establecerla: propuso emplear un anticátodo de platino en el tubo generador, colocándolo en el cen-

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

tro de la curvatura del cátodo cóncavo y oblicuamente a su eje.

Con el intervalo de un año, el 10 de marzo de 1896, sigue a la segunda memoria la tercera, el último escrito que Röntgen dedicara a los rayos X. Esta memoria, más extensa que las anteriores, completa con numerosos detalles el conocimiento de las propiedades de los rayos y aún más las de los tubos. Röntgen muestra que los rayos emitidos por un mismo tubo, lejos de ser homogéneos, consisten en una mezcla de rayos con diferentes intensidades, que son absorbidos por la materia en distintos grados; la composición de la mezcla de rayos depende esencialmente de la duración que tenga la corriente de descarga. Una serie de delicadas medidas fotométricas convencieron a Röntgen de que las intensidades de los rayos no varían con los ángulos bajo los cuales son irradiados por el anticátodo, a condición de que el ángulo no sobrepase los 80°. Resultado interesante, puesto que enseña cómo colocar el tubo y la placa fotográfica para evitar las pérdidas de energía en la radiación y producir imágenes netas. Otra serie de experimentos lo llevan al descubrimiento de que el aumento de la intensidad de la corriente primaria empleada en el carrito de inducción, aumenta la intensidad de los rayos, mientras deja invariable su calidad. Por último, Röntgen demostró que el poder de penetración —la "dureza"— de los rayos está en relación con la tensión aplicada al tubo y el grado de vacío que reine en el mismo. Röntgen encontró que los tubos se vuelven, después de un empleo prolongado, automáticamente duros a consecuencia de la disminución que la presión gaseosa sufre en ellos; se puede, sin embargo, regenerar los tubos introduciéndoles aire u otros gases con métodos convenientes, muchos de los cuales fueron enumerados por Röntgen.

El alcance técnico del distingo introducido por Röntgen entre los rayos duros y los blandos es considerable. En efecto, los rayos demasiado duros atraviesan los huesos y por ello dan imágenes deslucidas; en cambio, los rayos demasiado blandos son absorbidos por los tejidos y tampoco rinden mejores servicios. Le interesa, pues, a la radiografía evitar a ambos. Con-

tentémonos con estas someras indicaciones. Ellas bastan para darnos una idea de la rica variedad de resultados experimentales expuestos por Röntgen en su tercera memoria, fuente de una cantidad apreciable de sugerencias para el uso de los tubos.

Descubridor de los rayos y a la vez iniciador de sus aplicaciones prácticas, le hubieran sido fácil a Röntgen asociar a su gloria eterna una riqueza efímera. Una patente para el anticótodo descrito en su segunda memoria, patente que pudo haber obtenido sin mayor dificultad, hubiera convertido durante muchos años al mundo entero en su tributario. No le faltaron las proposiciones seductoras; numerosos industriales alemanes, ingleses y norteamericanos trataron de convencerle para que se asegurara la propiedad legal del tubo y les entregara la explotación de la patente. Pero Röntgen permaneció sordo a tan tentadoras sugerencias. Se consideraba magníficamente recompensado con el placer de haber descubierto al conocimiento humano un insospechado e inmenso dominio. Con un noble desinterés, del que hay pocos ejemplos en la historia, rechazó sacar ventajas materiales del formidable hallazgo y convirtió a su descubrimiento en un regio regalo a la humanidad.

El desinterés ejemplar del descubridor no impidió sin embargo que su repentina gloria provocara envidias entre los físicos, ya que muchos de ellos no poseían la grandeza humana de Röntgen. Antes de que concluyera el año de 1896, tan fecundo en acontecimientos, se esparcieron rumores malévolos tratando de disminuir los méritos del físico de Würzburg: Röntgen se habría reducido a explotar las investigaciones de sus precursores; en cambio, Crookes o Lenard serían los verdaderos descubridores de los rayos. Un gran diario de Munich se convirtió en el portavoz de los adversarios de Röntgen y propaló la arevida calumnia de que el profesor se habría apropiado de un hallazgo cuyo mérito partenercería a su ordenanza. Estas groseras tentativas para oscurecer el prestigio del físico genial se equivocaron de blanco tanto en Alemania como en el extranjero. No obstante, le produjeron días amargos al sensible y taciturno pensador, que no ignoraba el origen de estas

tura completamente impermeable a toda luz conocida, aun a la del arco eléctrico.

DAM: ¿Qué pensó usted?

RÖNTGEN: No pensé nada, experimenté. Primero admití que el efecto se hallaba en el tubo, ya que su índole me indicó que difícilmente podía tener otro origen. Lo comprobé; a los pocos minutos no tenía dudas sobre ello. Unos rayos hasta la fecha desconocidos habían salido del tubo e impresionado el papel fluorescente. Ensayé su eficacia en distancias cada vez mayores, hasta llegar a dos metros. Al principio me pareció una especie nueva de luz invisible; sin embargo, era seguro que, de todos modos, era algo nunca hasta ese momento registrado, algo enteramente nuevo.

DAM: ¿Es luz?

RÖNTGEN: No.

DAM: ¿Es electricidad?

RÖNTGEN: No, por lo menos en alguna de sus formas conocidas.

DAM: ¿Qué es entonces?

RÖNTGEN: No lo sé. Descubiertos los rayos, comencé a investigarlos. Pronto surgió, de los ensayos, la prueba de que poseían un poder de penetración en grado hasta ahora desconocido. Atravesaron con toda facilidad y sin que el espesor influyera, dentro de ciertos límites, papel, madera y telas. Lo mismo sucedió con todos los metales que utilicé, con intensidades variables, de acuerdo con la densidad del metal. Una vez comprobado su extraordinario poder de penetración, me pareció natural que también atravesaran los tejidos del cuerpo humano. Lo comprobé fotografiando mi mano ¹.

"Mi descubrimiento carece de historia", recaló Röntgen al reportero, para contar, a pesar de ello, una somera historia. Su entrevista con Dam podría dar lugar a la creencia de que el descubrimiento fué, en gran parte, debido al azar, a la presencia casual de un papel impregnado en platino-cianuro de

¹ "The New Marvel in Photography" *Mc Clures Magazine*, 1896.

bario cerca del tubo de descarga. El pretendido carácter fortuito del hallazgo resalta aún más claramente en otro artículo, publicado en la revista técnica *The Electrical Engineer* de Nueva York, cuatro meses después de la entrevista antes citada 1. Su autor, Carlos Nootnagel, norteamericano, estudiante en la Universidad de Würzburg, había asistido a una conferencia dada por Röntgen en febrero de 1896 ante un pequeño grupo de invitados. "El profesor Röntgen nos contó —escribe Nootnagel— cómo había logrado encontrar la extraordinaria propiedad que los rayos poseen de pasar a través de las sustancias consideradas como opacas para el agente que conocemos como luz. Una noche que el profesor Röntgen trabajaba en su laboratorio con tubos de Crookes, notó por casualidad que un pequeño trozo de papel, que había sobre la mesa, se iluminaba como si un rayo solar hubiera incidido sobre él. Primero pensó que era el simple reflejo de una chispa eléctrica, pero el efecto resultaba demasiado brillante para aceptar esta explicación. Por último examinó la *P* y encontró que la luz reflejada provenía de una letra *A* dibujada sobre el papel con una solución de platino-cianuro."

El aserto de que el descubrimiento de los rayos X sería obra del azar fué propalado por la prensa cotidiana de Alemania, cuando la primera noticia de los milagrosos rayos se esparció, el 7 y el 8 de enero, por Europa y los demás continentes. "El profesor Röntgen —decía el más famoso de los diarios alemanes, el *Vossische Zeitung*— hizo su sensacional descubrimiento por casualidad, como ocurre a menudo cuando insospechados fenómenos de la naturaleza se revelan al investigador. Al efectuar unos experimentos con un tubo de Crookes cubiertos con una tela (?) tuvo la suerte de notar ciertos efectos luminosos sobre una pantalla fluorescente que se encontraba en las cercanías." El papel providencial que desempeñó la pantalla

1 "How Röntgen Discovered the X-rays", *The Electrical Engineer*, agosto de 1896; ambos citados en Glasser: Wilhelm Conrad Röntgen, Berlin, 1931.

de platino-cianuro de bario fué aceptado en la mayoría de los libros de texto y se convirtió en la versión canónica de la historia de los orígenes de los rayos X.

Los rayos X no son el único fenómeno físico en cuyo descubrimiento la tradición atribuye la parte leonina al azar; a una observación casual se debería también que Galvani descubriera su corriente, Oersted el electromagnetismo, Faraday el fenómeno de la inducción y Mayer la ley de la conservación de la energía. Pero una observación casual está lejos de ser un descubrimiento; de uno a otro media el penoso y largo camino de reconocer los motivos, a menudo complicados, que han provocado el significativo azar. A cada instante ocurren en el mundo casualidades de profundo y fértil sentido, y sin embargo quedan desaprovechadas, ya que, tan frecuentes como ellas, son raros los Galvani, los Faraday y los Röntgen que saben percibir y penetrar su escondido sentido. Que ello es así, nada lo demuestra mejor que el caso de los rayos X. Röntgen no fué el primero que los engendró; mucho antes, en los experimentos de Hittorf, de Crookes y de Lenard, los mismos rayos salieron de los tubos de descarga. Crookes observó que a veces las placas fotográficas que estaban cerca del tubo se velaban, pese a la protección de su opaca envoltura. ¿Qué hizo? ¿Le sugirió acaso su intuición que en el débil ennegrecimiento de las placas acababa de manifestarse un fenómeno sorprendente? ¿Se puso a buscarlo? ¿Descubrió los rayos X? ¡No; sólo se contentó con alejar las costosas placas del tubo para evitar su inutilización!

Por otra parte, la documentación disponible no nos permite afirmar categóricamente que la primera y fundamental observación de la fluorescencia en la pantalla fué obra del azar. Una entrevista, cuyo valor está realzado por la personalidad del autor, el famoso radiólogo inglés Mackenzie Davidson, contradice rotundamente la versión tradicional. Veamos a continuación el importante párrafo del diálogo entre Röntgen y su ilustre visitante, publicado en julio de 1896 por la revista científica *Lancet* de Londres.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

DAVIDSON: ¿Qué hacía Vd. con el tubo de Hittorf cuando realizó el descubrimiento de los rayos X?

RÖNTGEN: Buscaba rayos invisibles.

DAVIDSON: ¿Por qué utilizó una pantalla de platino-cianuro de bario?

RÖNTGEN: En Alemania la empleamos siempre para revelar los rayos invisibles del espectro. Y yo pensaba que ésa era la sustancia indicada para revelar cualquier clase de rayos invisibles que el tubo pudiera emitir.

Con mayor claridad aún que la entrevista con Dam, estas palabras de Röntgen elucidan el momento decisivo en la historia de su descubrimiento. No fué por consiguiente el azar ciego el que colocó la pantalla de platino-cianuro de bario en las cercanías del tubo. Röntgen había pensado que quizás también esa sustancia fluorescente, sensible a los rayos invisibles conocidos, podría revelar los rayos desconocidos. La elección decidió el éxito; si en sus búsquedas hubiera mantenido la pantalla ketónica de Lenard —buen indicador de rayos catódicos, pero insensible a los rayos X—, a duras penas hubiera llegado al descubrimiento.

Si Röntgen al buscar rayos invisibles rechazó la pantalla ketónica y la reemplazó por otra, es porque debió suponer que del tubo de descarga salían rayos distintos a los de Lenard. ¿Era su hipótesis puramente intuitiva o le fué sugerida por motivos de otro orden? No faltan indicios en favor de la última posibilidad.

Röntgen cuidaba su anillo de oro —recuerdo de su madre—, y por ello tenía la costumbre de quitárselo cada vez que intervenían en sus experimentos aparatos con mercurio, bombas o interruptores. En contacto con el mercurio el oro se ennegrece, y una pequeña gota basta para amalgamarlo. A fin de proteger su anillo, solía encerrarlo, como lo certifica su asistente Zehnder, en una cajita de madera, que se hallaba siempre en la mesa del laboratorio, sobre la cual se alineaban también los tubos de Hittorf y de Lenard. Sin duda, hizo lo mismo

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

el día en que comenzó sus experimentos con los rayos catódicos.

Los papeles fotográficos, protegidos con cubiertas opacas, que Röntgen se proponía emplear para revelar la presencia de los rayos de Lenard, se hallaban esparcidos al azar sobre la mesa, algunos juntos a la cajilla y, por casualidad, tal vez, alguno debajo. Al conectar los tubos de Hittorf, los rayos X invadieron el espacio. Invisibles e ignorados, cruzaron el intervalo entre el tubo y la cajita, atravesando las paredes de madera para dibujar sobre la placa escondida la imagen del anillo de Röntgen. Cuando Röntgen, quizás algo enfadado por los infructuosos experimentos de esos días, dejó el laboratorio, cogió su anillo. El papel con la imagen cuya existencia nadie podía sospechar quedó abandonado sobre la mesa. En ese momento entra en escena la extraña personalidad de Marstaller, ordenanza de Röntgen.

Marstaller tenía a su cargo el arreglo y la limpieza del laboratorio. Como Röntgen era muy severo. Marstaller cumplía su deber con gran cuidado. Durante la tarea retiró la cajita, y la película cayó en sus manos. Si el papel fotográfico estaba sin envoltura protectora debajo de la cajita, Marstaller debió ver inmediatamente la reproducción fotográfica, reconociendo en ella tal vez al anillo del profesor. Como Marstaller no era totalmente lego y estaba al corriente de las cuestiones técnicas del laboratorio, quizás se planteó la pregunta de cómo pudo nacer una imagen en la película protegida de cualquier luz por el fondo de la cajita. Es muy probable que llegara a comunicar a Röntgen el extraño acontecimiento.

Pero sí, como es habitual, la película casualmente escondida bajo la cajita estaba protegida por una envoltura opaca, las cosas debieron desarrollarse en una forma distinta. En este caso la existencia de la imagen permanecía oculta a Marstaller y sólo se manifestó al emplear la placa, cuando Marstaller o el propio Röntgen la sacaron de su envoltura. Una carta del físico doctor Kanngiesser, entonces estudiante en Würzburg, parece apoyar esta versión: "Marstaller era un hombre despierto

y considerado como tal en el Instituto, donde los estudiantes se complacían en llamar a los rayos Röntgen "rayos Marstaller". Allí se solía contar que en los memorables experimentos de noviembre una placa fotográfica, a pesar de su cubierta, había sido impresionada. Röntgen, que no era un hombre particularmente afable, regañó a Marstaller inculpándole la pérdida de la placa. Sin embargo, Marstaller afirmó su inocencia, llamando la atención de Röntgen sobre lo misterioso del efecto" 1.

Por supuesto, el valor del aserto de Kanngiesser es dudoso; era uno de los numerosos estudiantes que rodeaban a Röntgen; no tenía ninguna ingerencia en el laboratorio privado del profesor, cuyo acceso estaba en aquellos días de noviembre cerrado aun para los mismos ayudantes. Kanngiesser se limitó, pues, a transcribir los rumores que escuchara: se podrían descartar sus afirmaciones si no hubiese un testimonio de rango, de una persona que vió la misteriosa fotografía del anillo y recogió las confidencias de Marstaller. Este testigo es A. Dyroff, profesor de la Universidad de Bonn en la época del descubrimiento de Röntgen, joven docente en el Liceo de Würzburg. "Poco tiempo después de la primera publicación de Röntgen sobre los rayos X, interrogué a Marstaller, cuyo hijo era uno de mis alumnos, sobre los pormenores del gran descubrimiento. Marstaller me contó que había una cajita sobre la mesa y dentro de ella un anillo. Marstaller le enseñó a Röntgen un papel fotográfico que, escondido debajo de la cajita, mostraba la vaga impresión del anillo en ella encerrado. Röntgen quedó sorprendido y comenzó a investigar las causas del fenómeno. Al notar Marstaller mi interés por el asunto me obsequió con la histórica fotografía del anillo, que durante mucho tiempo guardé en mi biblioteca, y que perdí cuando me trasladé de Würzburg a Munich. Pero aún hoy me parece tenerla ante mis ojos con la imprecisa reproducción del

¹ Carta del doctor Kanngiesser al doctor Zehnder, publicada por este último sin mencionar su fecha, en "Cartas de Röntgen a Zehnder", 1935.

anillo. Marstaller no sobreestimó su modesto papel en el descubrimiento de Röntgen y sabía perfectamente que su mérito se limitaba únicamente a la casual observación de un efecto casual" 1.

Resumamos. Aun si acordamos un crédito total a todas estas indicaciones —fuentes de innumerables rumores—, el cuadro que hemos bosquejado sobre los orígenes del descubrimiento röntgeniano permanece valedero. El episodio de Marstaller le añade sólo un pequeño capítulo preliminar: Röntgen trataba de demostrar, mediante la pantalla fluorescente, la existencia, de los rayos que la fotografía del anillo acababa de revelarle. Pero cualquiera que sea el encadenamiento exacto de las observaciones que le brindaron el formidable hallazgo —ya sea que las etapas de su camino le conducieran de los efectos fotográficos a los luminiscentes, o viceversa—, es indiscutible que en las horas vespertinas del 8 de noviembre, Röntgen acababa de hollar un suelo virgen, tan desconocido como milagroso, de la física, y que poseía desde ese momento, para explorar las características de la radiación descubierta, dos poderosos medios: la pantalla fluorescente y la placa fotográfica.

4. - *La primera comunicación sobre los rayos*

Hay un intervalo de seis semanas entre el 8 de noviembre que brindó a Röntgen el mayor de sus descubrimientos y el 28 de diciembre, día en que remitió la primera de sus tres inmortales memorias al presidente de la Sociedad físico-médica de Würzburg. Durante este breve lapso exploró las propiedades fundamentales de los nuevos rayos tan acabada y exactamente, que debieron transcurrir años antes de que otros físicos llegaran a encontrar nuevas características a los rayos Röntgen. La historia de las ciencias registra contados ejem-

¹ Carta del Dr. Dyroff al Dr. Zehnder, publicada en el libro citado.

plos de un éxito semejante. En el siglo XIX, Faraday, el reverenciado modelo de Röntgen, es tal vez el único que logró llevar a cabo una hazaña comparable, al poner de manifiesto, algunas semanas después de haber observado por primera vez la inducción magnética, todas las cualidades esenciales del transcendental fenómeno que había descubierto.

Röntgen se encerró durante estos días decisivos en su laboratorio. Interrumpía su trabajo solamente algunas horas para dormir, y era frecuente que se olvidara hasta de comer. Mediante un esfuerzo casi sobrehumano, del cual el más apasionado investigador sólo es capaz una vez en la vida —en el apogeo de su trayectoria—, reconoció, guiado en sus experimentos por la sonambulesca seguridad de la intuición, una tras otra, las sorprendentes propiedades de sus rayos. Su poder de penetración, que Röntgen comprobaba con todos sus pormenores ya el 8 de noviembre, alejaba toda duda de que los rayos fueran una categoría de flujo catódico. Pero, ¿sería su facultad de atravesar los cuerpos opacos la única en diferenciarlos de los rayos catódicos, en los que se originaba? Röntgen los sometió a la acción del campo magnético: a diferencia del flujo catódico, los rayos pasaron sin ser desviados. ¿Influiría sobre ellos el campo eléctrico? Los ensayos no dieron al principio una respuesta categórica a este problema, pero pronto Röntgen observó que las fuerzas electrostáticas tampoco actúan sobre los rayos.

Nada es más natural que preguntarse qué parte del tubo generador los emite. En una forma tan simple como ingeniosa, Röntgen halló su fuente: mediante un imán desplazó la trayectoria del flujo catódico y con él la mancha fluorescente que éste origina sobre la pared cristalina del tubo; inmediatamente la marca dibujada por los rayos X sobre la placa fotográfica o la pantalla fluorescente se desplazó también, de acuerdo con la mancha fluorescente. De esta manera, el impacto del flujo catódico sobre el vidrio del tubo, la intrigante mancha de luz verdosa, se reveló como el centro de la nueva radiación. Sin embargo, el vidrio no es la única sustancia capaz de irradiar rayos X; lo mismo pasa con una lámina de aluminio, y Rönt-

gen no tardó en convencerse de que todas las sustancias se vuelven, ante el impacto catódico, fuentes de rayos X. Éstos se propagan en línea recta como la luz. Las sombras que los objetos más o menos transparentes arrojan, iluminados por los rayos X, sobre la pantalla, lo prueban claramente. Además, Röntgen lo demuestra con un experimento fotográfico difícil y delicado, al hacer pasar los rayos engendrados por una fuente casi puntiforme, a través del ojo de una aguja. La propagación rectilínea, la capacidad de provocar fluorescencia, de impresionar placas y de producir otros efectos fotoquímicos, que cuidadosamente puso Röntgen en evidencia, todo ello, sugirió un estrecho parentesco entre los nuevos rayos y la luz. Faltaba aún por ver los rayos X refractados, difractados o polarizados, lo mismo que un haz de luz solar.

Röntgen hace caer un haz de los nuevos rayos sobre un prisma de mica lleno de agua, pero la huella dibujada sobre la pantalla no evidenciaba ninguna desviación, como si el prisma interpuesto no existiera para la extraña radiación. Llenó el prisma con hiposulfito de carbono: la mancha sobre la placa no cambió de lugar. Los prismas de aluminio y de otros metales más densos, tampoco dieron el resultado esperado. Röntgen ensayó con polvo fino de sal gema, de zinc, de plata electrolítica, los cuales provocan notable dispersión de la luz normal —dispersión debida a la reflexión o a la refracción—, pero el efecto continuó siendo nulo. El polvo se mostró transparente para los rayos en igual grado que la sustancia maciza. Los lentes, ya fueran de cristal o de caucho endurecido, tampoco pudieron concentrar los rayos, resultando igualmente infructuosos todos los esfuerzos de Röntgen para difractarlos, interferirlos o polarizarlos, aunque se valió de todos los medios conocidos. ¿Serían los rayos algo fundamentalmente distinto a la luz? Otro investigador, ante el silencio de los hechos, no hubiera vacilado en afirmarlo; sin embargo, Röntgen sostuvo la existencia de un estrecho parentesco entre sus rayos y la luz solar. Ambos, afirma, son vibraciones del éter y adivina que la velocidad de propagación —imposible de medir

para él— de los rayos X debe ser idéntica a la de la luz común.

En esos días su perspicacia es casi la de un clarividente; sólo 16 años más tarde se logró comprobar, mediante experimentos decisivos, la difracción de los rayos X y demostrar, con medios más poderosos que los empleados por el descubridor, la realidad de los fenómenos que éste intuyera y en vano buscara (ver pág. 119). Nada muestra mejor la intuición segura de Röntgen que el empleo, en aquellos infructuosos tanteos, de cristales, y que entreviera, aunque sin lograr demostrarlo, la diferencia que podría existir en el comportamiento de los rayos entre la calcita y un trozo de vidrio. En efecto, fueron los cristales los que permitieron, en 1912, producir imágenes de refracción con rayos X.

Durante las seis semanas de sus febriles búsquedas, ansioso de encontrar fuentes más prácticas para sus rayos, Röntgen introdujo mejoras notables en los tubos generadores; abandonó el procedimiento primitivo de producir rayos mediante el impacto del flujo catódico sobre la pared de cristal o la ventanilla de Lenard: método de poco rendimiento, ya que los rayos, al emanar de una mancha extensa, no dan imágenes netamente delimitadas, y además, ni el vidrio ni las hojas delgadas de aluminio resisten el calor provocado por el bombardeo catódico. En un lapso muy breve los tubos son perforados y se tornan inutilizables. Para remediar estas dificultades. Röntgen le dió al cátodo la forma de un espejo cóncavo, en cuyo centro de curvatura colocó una placa de platino, el anticátodo, inclinada a 45° con respecto al eje del espejo. La duración de los tubos se alargó gracias al anticátodo de platino, más resistente al calor que el vidrio. Por otra parte, el flujo catódico concentrado sobre el anticátodo constituye una fuente casi puntiforme de rayos X, que dibujan netamente las sombras de los objetos iluminados.

Muy pronto Röntgen reconoció el poder variable de penetración de los rayos y halló que la diferencia entre los rayos duros (más penetrantes) y los blandos, no solamente depende del voltaje empleado, sino también de la presión gaseosa que

reine en el tubo. Un vacío más elevado produce rayos más duros. Con tales indicaciones y las mejores técnicas, Röntgen fijó, inmediatamente después de su descubrimiento, en el desarrollo de la construcción de los tubos, el camino a seguir. Descubridor de los rayos, es también a la vez el iniciador del arte de engendrarlos. Por numerosas e importantes que fueran las modificaciones introducidas por la legión de técnicos que en seguida se volcaron en el novedoso y fértil campo, no aportaron al aparato más que suplementos o innovaciones de detalle en la forma del tubo, en la posición y material de los electrodos y en la refrigeración del anticátodo. Tendremos que esperar casi dos décadas, hasta el invento de Coolidge¹, para ver surgir un nuevo principio, ajeno al de Röntgen, en la construcción de los tubos.

Contrariamente a sus hábitos, Röntgen, llevado por el ritmo con que los nuevos fenómenos se le habían manifestado, redactó rápidamente el informe sobre su descubrimiento. Concluido éste, lo encontró demasiado largo y engorroso; descontento, rompió el manuscrito para comenzar de nuevo. Esta vez reflexionó mucho tiempo sobre cada frase, vió si no se podía reemplazar por otra mejor, y pesó cada palabra. "La memoria de Röntgen —pudo decir más tarde el físico Drude— es como un escrito de Lutero, ni una palabra de más, ni una de menos. Se la podría grabar sobre una placa de mármol." La sencillez con que Röntgen comunicó al mundo uno de los más extraordinarios descubrimientos, encuentra su paralelo en la concisión y exactitud de su exposición. No más de cuatro páginas ocupa en los Anales de la Sociedad físico-médica de Würzburg. Únicamente a pocos clásicos de la ciencia fué dado decir tanto con tan pocas palabras. En efecto, la inmortal memoria muestra a Röntgen como un verdadero clásico, en oposición a los románticos de la ciencia, empleando el sentido que a estas dos expresiones diera Guillermo Ostwald en su famoso libro *Los grandes hombres*.

¹ Ver pág. 144.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

"El primer afán del romántico —opina Ostwald— es liberarse lo más pronto que le sea posible del problema presente para volcarse en otro; en cuanto al clásico, el afán cardinal es agotar el problema, tan acabadamente que ni él, ni ninguno de sus contemporáneos, sea capaz de modificar los resultados. El clásico semeja al oso de la leyenda que lame al osezo con paciencia y ternura, para no dejarle ir antes de haber recibido todos los cuidados de que es capaz el progenitor. De acuerdo con su característica perfección, las obras de los clásicos poseen menos personalidad que las de los románticos. Mientras que los últimos no temen indicar los eventuales caminos erróneos que por fin los llevaron a la meta, el clásico presenta acentuada tendencia a ofrecer cada una de sus obras como si se asentaran sobre sí mismas, y elimina los pasos intermedios que le sirvieron en sus búsquedas; quiebra la escala por la cual se elevó. Las obras de los clásicos poseen una larga duración y conservan su valor durante mucho tiempo, mientras que por el contrario los progresos realizados por los románticos pierden muy pronto su nota personal para pasar al anónimo del saber general". Podría creerse que, al trazar el retrato del clásico, Ostwald pensaba en Röntgen; pero no, tenía frente a sí a Newton y Gauss. A pesar de ello, cada una de sus frases cuadra al descubridor de los rayos X.

Röntgen guardó un silencio absoluto sobre su descubrimiento hasta que terminó la larga serie de los experimentos descritos en su primera memoria. Sus dos ayudantes ignoraban por completo el secreto del jefe, y no lo supieron hasta el momento de su publicación. A su mujer, que lo notaba en aquellas semanas más preocupado que nunca, se contentó con decirle: "¡Ya verás, cuando la gente conozca lo que estoy por realizar, afirmarán que el viejo Röntgen se volvió loco!" Finalmente, el 22 de diciembre terminó la redacción de su memoria y en la noche de ese mismo día fotografió los huesos de la mano de su esposa. Fué sin duda el más extraño regalo de navidad que un marido jamás hiciera a su mujer. La fotografía, cuyo original se conserva en el Museo Germánico de

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

Werbung, Kohlrausch. (und selbst am wenigsten), Lord Kelvin, Stokes, Poincaré u. a. haben mir Ihre Freude über den Fund und Ihre Anerkennung ausgesprochen. Das ist mir viel mehr und ich lasse die Weihnacht ruhig schwätzen; das ist mir ja sehr lieblich.

Ich hatte von meinem Onkel Meinander etwas gesagt; meiner Frau blieben ich nur mit, das ich etwas mache, von dem die Leute, wenn sie es erfahren, davon erzählen "der Röntgen ist wohl verrückt geworden". Am ersten Januar verwichen ich die Segen abzugeben und nun jenz der Zeitung "Las! Die Meines Freude blieb zuerst in der Reklametransporte und die anderen folgen. Mir war nach einigen Tagen die Sache verschelt, ich konnte aus der Nachrichten mein eigenes Arbeit nicht machen. Das Photographieren war mir Mittel zum Zweck und nun mehr heraus die

Carta de Röntgen a su ayudante Zehnder

Munich, representa la primera radiografía, pues hasta entonces Röntgen se había contentado con ver dibujada su propia mano sobre la pantalla fluorescente y con fotografiar objetos inanimados. Cinco días después remitió su informe sobre una nueva especie de rayos, al presidente de la Sociedad físico-médica de Würzburg; lo envió con toda modestia, sin mencionar ni siquiera con una palabra lo extraordinario del contenido. Pero, cuando el 1º de enero recibió el cuaderno de los Anales con su trabajo, no pudo evitar el decirle a su mujer: "Acabo de soltar al diablo"¹.

5. - Edad heroica de la radiografía y radioscopia

¿A quién se le ocurriría buscar la primera noticia de un transcendental descubrimiento en los Anales —publicados en una ciudad de provincia— de una sociedad sin importancia? Seguramente a nadie; los sabios, como el resto de los mortales, se enteraron, salvo unas pocas excepciones, de la gran novedad por los diarios.

Una semana antes de la publicación, en los últimos días de diciembre, Röntgen había mandado varias radiografías a su amigo Exner, profesor de Física en la Universidad de Viena. En la carta adjunta al envío le pedía que guardase por el momento un silencio absoluto. Las fotografías cayeron por casualidad en las manos de un joven ayudante, el doctor Lecher, quien se apresuró a comunicar la formidable noticia al *Neue Freie Presse*, importante diario de la capital austríaca. El director de la *Presse* dudaba sobre la seriedad del asunto. Fotografiar esqueletos de seres vivos, le parecía demasiado fantástico

¹ He aquí el pasaje de una carta escrita por Röntgen a Zehnder, sin fecha, en enero de 1896: "No entré de mi trabajo a nadie. A mi mujer sólo le dije: estoy haciendo algo que cuando las gentes lo conozcan, dirán que el viejo Röntgen parece estar loco. El primero de enero mandé las separatas. ¡El diablo estaba desencadenado!" Este pasaje es reproducido en facsimil en la pág. 93.

para ser verdadero. No se atrevió a publicar la crónica hasta el 6 de enero, después de haber verificado que en Würzburg existía un tal Röntgen, físico de sólida reputación, muy conocido en los círculos científicos. Ese mismo día, desde Viena, el telégrafo desparramó la sensacional noticia por todo el globo terráqueo.

El periodista austríaco no fué el único que acogió la noticia con un sorprendido escepticismo. Los mismos hombres de ciencia estaban sorprendidos. "Creía leer —escribió el físico berlinés O. Iummer— un cuento de hadas, aunque el nombre del descubridor y sus demostraciones excluyeran toda duda posible. Increíble, pero a pesar de ello verdadero. Se pueden fotografiar, como por encantamiento, trozos metálicos encerrados en cajas de madera o huesos de seres vivos". Pero con mayor eficacia que las demostraciones del propio Röntgen y las radiografías que ilustraban su memoria, atestiguaban los hechos la realidad del "milagro": no existía casi un laboratorio que no tuviera tubos de Hittorf o de Crookes y cualquier físico podía reproducir los experimentos realizados por Röntgen. La facilidad con que se podían producir los rayos hizo que sin demora el descubrimiento tuviera acceso a la vida práctica. Mientras que hasta los más exitosos descubrimientos físicos requieren, en general, años para encontrar sus aplicaciones, los rayos X no necesitaron ni siquiera semanas: seis días después de la publicación de Röntgen, se fotografió en Berlín la mano de un obrero herido por la explosión de un frasco metálico, cuyas astillas habían quedado incrustadas en los tejidos, y tres días después de haberse recibido la noticia en América, en Baltimore un cirujano extraía del brazo de un niño una bala de fusil, localizada mediante la ayuda de los rayos X.

La gran utilidad del descubrimiento para el diagnóstico era tan grande que las aplicaciones médicas debieron naturalmente preceder a todas las demás. En la sociedad médica de Berlín, el doctor Jastrowitz enseñó el 6 y 7 de enero, ante un numeroso auditorio, en dos conferencias, la forma de engendrar los rayos, acompañando sus demostraciones con una

serie de radiografías efectuadas por el físico P. Spies, que conjuntamente con G. Klingenberg, en Charlottenburg, y W. König, en Frankfurt, se convirtieron, en aquella temprana época de los rayos, en los más hábiles radiógrafos alemanes. El mismo día que Jastrowitz pronunció en Berlín su primera conferencia, en la clínica de la Universidad de Freiburg, los rayos localizaron una aguja cuya punta quebrada estaba incrustada en la mano de un paciente. Casi simultáneamente, en Inglaterra, Mac Kenzie Davidson, en Aberdeen, extrajo del pie de una niña un clavo encontrado mediante una radiografía. El 25 de enero, la *Settimana Medica* de Florencia refirió una serie de sucesos semejantes ocurridos en Italia; a fines de enero, los *Comptes Rendus* de la Academia de París, publicaron fotografías sacadas en el laboratorio de Le Roux y en el Hospital Trousseau; evidenciaban síntomas de tuberculosis en la mano de un niño y la destrucción causada por la osteomielitis en la médula del fémur de un adulto. Durante los meses de enero y febrero, la Academia de Ciencias de París recibió más de una docena de comunicaciones sobre exitosos diagnósticos. En Londres, los casos se acumularon tan rápidamente, que las revistas médicas, inundadas de artículos sobre radiología eran incapaces de registrarlos a todos. El extraordinario interés reclamó una revista especializada. Sidney Rowland fundó en mayo del año febril de 1896, su *Archives of Clinical Skiagraphie*, el primer órgano radiográfico del mundo, dedicado a la "aplicación de la nueva fotografía a la medicina y la cirugía". El ejemplo de Rowland fué seguido, con algunos meses de distancia, por Alemania y por los Estados Unidos de América: de esta manera nacieron los *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen* y el *American X-Ray Journal*. La marcha triunfal de la radiografía acababa de comenzar.

Las radiografías hechas en las primeras semanas de 1896 son en su gran mayoría de los huesos de la mano y, más raramente, de los del pie humano. A partir de marzo, las experiencias acumuladas permiten ya liberarse de esta limitación y se intenta realizar un atlas radiográfico del esqueleto entero del hombre.

Ayudado por el asistente de Röntgen, Zehnder y el físico Kempke, el médico militar Sehrwald fué el primero que emprendió la dura tarea. Como modelo eligió un mozo de 14 años, en el cual una primera prueba prometió que sus huesos serían bien visibles en la imagen. Los tres compañeros comenzaron por tomar el tórax poniendo a su modelo casi en contacto con el tubo. La radiografía resultó bien, pero el joven cayó algunos días más tarde enfermo. La región de la piel que había estado cerca del tubo mostraba una mancha roja. ¡Fué el primer caso de quemadura con rayos X! El mozo se curó al cabo de algunas semanas, pero divulgado el caso por un diario, los tres amigos se vieron en dificultades para procurarse un segundo modelo. El proyecto del atlas hubiera fracasado si el doctor Sehrwald, médico militar y hombre de recursos, no hubiese conseguido que dos soldados de la guarnición de Freiburg recibieran la orden de ponerse a su disposición. Todo fué bien, hasta el momento de llegar al cráneo. Éste, con el aparato de Zehnder, exigía una hora de exposición y ninguno de los soldados era capaz, aun acostado, de mantener tanto tiempo su cabeza en reposo. El más heroico de los tres compañeros, Kempke se ofreció para acabar la obra. El atlas, aunque pronto sobrepasado por otros trabajos similares, fué la principal atracción del congreso de naturalistas que se reunió en agosto de 1896 en Zürich.

La desgracia del joven quemado por los rayos X durante el experimento del doctor Sehrwald, no fué por mucho tiempo un caso aislado. El error, compartido por el mismo Röntgen, de que los efectos fisiológicos de los rayos serían despreciables cuando no nulos, parecía dispensar a los radiólogos, en los primeros meses que siguieron al descubrimiento, de adoptar precauciones. El rápido perfeccionamiento de los tubos generadores y de los procedimientos fotográficos, que permitieron acortar el tiempo de exposición, reduciéndolo primero a algunos minutos y después, a fines de 1897, a segundos, disminuyó considerablemente los peligros para los pacientes, pero continuaron subsistiendo para los röntgenólogos. Carentes de

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

experiencia, los médicos no sabían graduar correctamente las cantidades de rayos, ni determinar con suficiente exactitud su penetrabilidad. Para evaluar ambas magnitudes, acudieron al grado de brillo de la pantalla fluorescente, o a la intensidad del ennegrecimiento de la placa fotográfica. Incautamente, interpusieron simplemente la mano entre el tubo y la pantalla para controlar la calidad de la radiación. Este modo primitivo de comportarse ocasionó en numerosos casos peligrosas quemaduras, y la confianza, prematuramente concedida a la inocuidad de los rayos, terminó por costar la vida a algunos de los iniciadores de la radiografía. Las primeras víctimas fueron el médico norteamericano Walter James Dood, en Boston, que sufrió graves quemaduras en ambas manos, y el asistente de Edison, doctor Dal, quien murió, en 1904, después de muchos sufrimientos. Hacia mediados del 1896, el röntgenólogo Marcuse, de Berlín, llamó la atención de sus colegas sobre los peligros que los amenazaban y recomendó insistentemente la adopción de medidas de protección. Éstas, aunque adoptadas poco a poco casi por la generalidad, no pudieron preservar a varios de los iniciadores de un trágico destino. La lista de mártires es larga, y se extiende mucho más allá de la edad heroica en la radiografía: muchos de los que se creyeron curados sucumbieron diez, y aun veinte años más tarde, a consecuencia de las quemaduras sufridas en el fatal año de 1896, víctimas del insidioso cáncer causado por los rayos X. El propio Röntgen escapó, podríamos decirlo, casi milagrosamente, al peligro. Como ya dijimos, había realizado casi todos sus experimentos dentro de una cámara oscura formada por una gran caja de zinc, en cuyo interior los rayos del tubo generador solamente penetraban por una ventanilla de aluminio. Röntgen adoptó este dispositivo para poder fotografiar y observar la pantalla fluorescente con mayor comodidad, sin darse cuenta de que las espesas paredes de la caja le protegían a la perfección contra las amenazas de los rayos.

En los primeros días del descubrimiento Röntgen dudaba de si los rayos podrían mostrar en el interior del cuerpo otra

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

cosa que no fuera el esqueleto o materiales extraños incrustados en los tejidos. Pero pronto se volvió menos escéptico. En su conferencia dada el 23 de enero en la Sociedad físico-médica de Würzburg, expresó la esperanza de que se lograrían hacer visibles los diferentes órganos del cuerpo humano, aunque hasta ese momento no hubiera sido posible, pues los rayos no arrojaban sombras apreciables en la imagen radioscópica o fotográfica. El optimismo de Röntgen se justificó a los pocos meses. Con el mejoramiento de los procedimientos fotográficos aparecieron sobre la placa las sombras perceptibles del corazón y de los pulmones; sin embargo, el estómago y los intestinos continuaron siendo invisibles. Las cosas cambiaron cuando W. Becher, a fines de marzo, en Berlín, introdujo una solución de sales de plomo en el estómago y en los intestinos de un cobajo que acababa de morir. En efecto, los contornos de esos órganos se dibujaron con nitidez en la radiografía. Bastaría, aseguró entonces Becher, hacer llegar al estómago del paciente una solución que sea a la vez inofensiva para el organismo humano y opaca a los rayos X, para producir sobre la placa o la pantalla una sombra del estómago. Con la feliz ocurrencia de Becher, casi de inmediato puesta en práctica, el camino para resolver el problema estaba indicado. Se ensayó una serie de sustancias para dar finalmente la preferencia —hacia 1900— al sulfato de bario o de bismuto, que se convirtieron con el tiempo en los medios clásicos. Mientras tanto, el doctor Schwald había examinado numerosas sales metálicas, mostrando que el grado de su transparencia ante los rayos no dependía del peso molecular del compuesto, sino del peso atómico de los elementos constitutivos.

Con anterioridad a los experimentos de Becher, dos investigadores, Lindenthal y Haschek en Viena, lograron hacer visibles las venas de la mano de un cadáver, gracias a la inyección de una mezcla de cal, cinabrio y petróleo. Igualmente en Viena, en la clínica del famoso profesor Neusser, los físicos Eder y Valenta, fotografiaron cálculos biliares a través de un hígado de cuatro dedos de espesor. El tiempo de exposición

requerido para tal éxito era demasiado largo y exclufa, por lo tanto, una aplicación inmediata en el hombre vivo, que no se logró hasta el año 1905.

Mayor sensación que estas interesantes experiencias —por el momento más bien de valor teórico— causaron dentro y fuera de los círculos médicos, las primeras radiografías de la dentadura humana. W. König en Francfort y W. J. Morton en Nueva York mostraron, en abril de 1896, que los rayos diseñaban sobre las películas colocadas en la boca sombras netas de los dientes y de las partes vecinas de la mandíbula, permitiendo observar detalles innaccesibles a todo otro método de la diagnosis odontológica. En ese mismo mes, los hermanos Williamson, en Boston (EE. UU.), lograron localizar radiográficamente cuerpos extraños en el ojo de un paciente. Así, antes que hubiera transcurrido medio año desde el descubrimiento de los rayos, la radiografía abrió en los más variados dominios de la diagnosis médica novedosos e insospechados senderos.

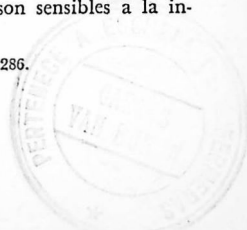
En las experiencias de Röntgen las placas fotográficas y las pantallas fluorescentes se complementaron y, naturalmente, los primeros röntgenólogos acudieron a la vez al servicio de ambas, desarrollando paralelamente los procedimientos radiográficos y radioscópicos. La imagen fotográfica posee, sin duda, la ventaja de revelar más detalles, de permitir un estudio más detenido, es susceptible de ser guardada para comparaciones ulteriores; ventajas que faltan a la imagen fluoroscópica, que nace con la actividad del tubo y se desvanece con la interrupción de la radiación. Pero en cambio, la pantalla fluorescente evidencia el movimiento de los órganos. Extraordinaria fué la sensación que se produjo el 3 de junio en la sesión de la Sociedad Fisiológica de Berlín, cuando el famoso fisiólogo Du Bois-Raymond mostró la imagen fluoroscópica de la acción del corazón, del diafragma y del estómago humanos. "No olvidaré nunca —escribe uno de los espectadores, el eminente röntgenólogo Levi Dorn— la profunda emoción que me embargó al ver por vez primera sobre la pantalla latir

el corazón y el ascenso y descenso del diafragma durante la respiración" ¹. El perfeccionamiento de los tubos, unido a las pantallas más sensibles, permitieron desde los comienzos del año siguiente, 1897, reconocer sobre la pantalla tumores y áreas calcificadas en el pulmón. ¡Qué modestos aparecían, comparados con el poder revelador de los rayos de Röntgen, los antaño glorificados progresos: la percusión de Auenbrugger y la auscultación de Laennecl No eran más que simples tanteos en la oscuridad, frente a la observación de la luz y de la sombra.

El movimiento no quedó durante mucho tiempo como un privilegio exclusivo de las imágenes fluoroscópicas. En el mismo año que Röntgen descubrió los rayos, los hermanos Lumière inventaron la cinematografía. Antes de que transcurrieran doce meses desde el día en que Röntgen realizó la primera radiografía, el doctor Mac Intyre, en Glasgow, realizó la primera tentativa cinematográfica con los rayos X. Su procedimiento consistía en filmar las sombras producidas por los rayos X sobre la pantalla fluorescente. Su primera película, muy admirada, mostró los movimientos de una pata de rana. El primitivo método de Mac Intyre fué pronto mejorado aprovechando el rápido desarrollo de los métodos cinematográficos. Sin embargo, la "röntgen-cinematografía" no llenó las plétóricas promesas concebidas por su inventor en el febril año de 1896. Casi todos los notables sucesos de la radiografía y la radioscopia fueron obtenidos sin el concurso de los medios cinematográficos.

Observaciones accidentales —tales como las quemaduras de la piel sufridas por los primeros röntgenólogos o sus pacientes— fueron las que atrajeron, como hemos ya referido, la atención de los médicos sobre los efectos fisiológicos de los rayos X. La piel es la puerta de acceso para los rayos en el cuerpo, y los daños que ella sufre hicieron presumir que, lo mismo que ella, también otros órganos son sensibles a la in-

¹ *Zeitschrift für technische Physik*, 1923, pág. 286.



fluencia de los rayos. La experiencia no tardó mucho en confirmar la suposición y mostrar la intensa y a veces peligrosa acción de los rayos, entre otras, sobre las glándulas sexuales, los tejidos linfáticos, y los glóbulos blancos de la sangre. Estos hechos originaron la hipótesis de si los rayos X, a semejanza de algunos venenos, no podrían también ejercer una acción curativa. Desgraciadamente, las primeras experiencias no animaron a los investigadores. Su fracaso se explica: por una parte los medios técnicos a disposición de los iniciadores eran modestos e incompletos, por otra parte las esperanzas, alentadas por los éxitos de los rayos en otros dominios, eran desmesuradamente exageradas.

¿Poseen los rayos un efecto bactericida? El problema fué planteado inmediatamente después del descubrimiento. Pero las experiencias realizadas sobre cultivos de micrococos, bacilos del ántrax, estreptococos y bacilos de Koch, en Alemania, Inglaterra y en los Estados Unidos por numerosos röntgenólogos, tuvieron resultados negativos. Tampoco los experimentos de Berton en Francia, Gormani en Italia, que ensayaron el efecto de los rayos sobre bacilos de difteria en caldos de cultivo, obtuvieron éxito. Morton irradió cultivos de vibriones de cólera y bacilos de tifoidea, sin obtener mayor éxito que los investigadores antes citados. Los resultados aparentemente alentadores de Lortet y Genond, que inocularon cultivos de bacilos de Koch a conejos y los trataron con rayos X, no recibieron su confirmación ni en Alemania ni en Inglaterra, donde se repitieron las experiencias en 1896-1897.

Estos fracasos, y otros cuya enumeración podría prolongarse indefinidamente, hicieron que a pesar del éxito en algunos casos aislados —por ejemplo en el tratamiento de los carcinomas estomacales—, la mayoría de los médicos, y entre ellos los más prominentes, se negaron a creer, en los primeros tiempos que siguieron al descubrimiento de Röntgen, en la utilidad terapéutica de los rayos X. Previnieron sobre su empleo, convencidos de que los efectos terapéuticos no podían ser producidos sin causar al paciente considerables daños. A este respecto es

instructiva la historia del médico vienés doctor E. Freund, uno de los iniciadores de la radioterapia en un dominio donde inmediatamente consiguió indiscutible éxito.

La observación efectuada por varios radiólogos de que ellos o sus pacientes perdían los cabellos a consecuencia de las irradiaciones, sugirió a Freund la idea de emplear los rayos para combatir el crecimiento superfluo y enfermizo del pelo. El primer paciente tratado fué una niña afeada por un enorme lunar piloso. La intención de Freund de realizar el tratamiento en el hospital de la Universidad chocó con la oposición del jefe del Instituto fisiológico, profesor Exner, que consideró el proyecto completamente insensato, y le negó el permiso para emplear los aparatos. El director del Instituto de investigaciones fotográficas, doctor Eder, era menos pesimista y el joven doctor Freund pudo comenzar su trabajo. "Freund —relata Eder— irradió a su pequeña paciente una decena de días, a razón de dos horas diarias. Cierta vez, estaba yo en mi laboratorio cuando se abrió de golpe la puerta y, sin ser anunciado, el doctor Freund irrumpió, presa de gran excitación, en mi cuarto y, empujando delante de sí a la pequeña, gritó: «¡Herr director, los pelos han desaparecido!» Era verdad; sólo quedaba sobre el cuello de la niña una pequeña mancha circular, secuela de la irradiación. Fué la primera y exitosa prueba experimental del efecto biológico, y simultáneamente la primera aplicación afortunada de los rayos X con fines terapéuticos"¹.

La desconfianza ante la utilidad terapéutica de los rayos era tan profunda que cuando Freund presentó el caso a la Sociedad médica de Viena, no encontró más que incrédulos. Los dermatólogos presentes en la sesión quedaron atónitos y uno de ellos, al examinar con detención a la niña, afirmó categóricamente la imposibilidad del caso, sosteniendo que era un engaño.

El escepticismo hacia los servicios que los rayos debían prestar, mitigando los sufrimientos humanos, se disipó poco a poco. Pero la edad heroica, cuya historia registramos en este capítulo,

¹ Glasser, loc. cit., pág. 302.

de los tres años consecutivos al descubrimiento, años que vieron el nacimiento y vertiginoso desarrollo del radiodiagnóstico, no brindó más que débiles y muy inseguras contribuciones a la fundación de la röntgenoterapia.

Los primeros röntgenólogos no limitaron el campo de sus investigaciones únicamente al estudio del cuerpo humano. Muy pronto utilizaron el nuevo instrumento aplicándolo a la zoología y a la botánica. Las radiografías de los esqueletos del *Cameleon cristatus* y del pez abisal, *Christiceps argentatus*, tomadas en Viena por Eder y Valenta, en la misma semana en que Röntgen publicó la memoria sobre su descubrimiento, representan probablemente los primeros pasos dados en ese vasto dominio. Algunos meses después Lemoine analizó en los *Comptes Rendus* de la Academia de París los múltiples provechos que la zoología podía sacar del estudio con los rayos X de esqueletos de animales vivos, y llamó también la atención sobre los servicios que los rayos podrían prestar a los paleontólogos. Entre tanto, A. Schober, en Alemania, estudió la acción de los rayos sobre la germinación de las plantas y C. Maragoni, en Italia, sometió huevos y larvas de insectos a la influencia de la radiación X. Por cierto, estas últimas investigaciones no fueron más que tanteos, pero con ellas los buscadores pisaron, ya en tan temprana época, el camino que debió llevar durante el siglo xx a la genética moderna a efectuar descubrimientos transcendentales.

Tan inmediata como la utilización de los rayos en la cirugía, fué su acceso a varios dominios técnicos e industriales. La observación hecha por Röntgen en su primera memoria de que las radiografías revelan eventuales defectos en la estructura íntima de láminas metálicas, dió el primer indicio para una importante aplicación práctica. Dada la tendencia de los germanos a adaptar en seguida las conquistas científicas a fines militares, no es sorprendente que el Ministerio de Guerra de Berlín fuera el primero en darse cuenta de los servicios que los rayos —al descubrir grietas en las placas de acero para corazas— podrían prestar para mejorar el equipo del ejército alemán.

La industria no tardó mucho en seguir el ejemplo. En 1898 se instalaron en Alemania y en los Estados Unidos, los primeros laboratorios especializados en el examen röntgenológico de materiales. Sin embargo no alcanzaron su verdadera importancia hasta la primera década de nuestro siglo, cuando el rendimiento poderosamente aumentado de los tubos comenzó a permitir la iluminación de chapas relativamente espesas de metales pesados, y, por otra parte, cuando la gran sensibilidad de las películas y pantallas permitieron observar detalles minuciosos de la estructura íntima de la materia. Por supuesto, los metales no fueron durante mucho tiempo el objeto exclusivo de esos exámenes; pronto abarcaron los más variados materiales, cuya extensa gama llega desde los aisladores de porcelana y materias fibrosas, hasta las diversas categorías de sustancias vítreas.

Otra aplicación, igualmente nacida en los primeros meses que siguieron al descubrimiento, tuvo también su base en los experimentos del mismo Röntgen. Las sombras que arrojan las perlas genuinas y las piedras preciosas iluminadas por los rayos X evidencian diferencias con las de perlas artificiales y piedras falsas. Algunas perlas artificiales cuyo examen no permite distinguir las de las naturales, se pudieron reconocer gracias al método radiográfico, elaborado por el röntgenólogo alemán W. König. Por su parte, el físico norteamericano D. C. Miller y el mineralogista austríaco C. Doelter sometieron la transparencia de los diamantes, esmeraldas, topacios y otras piedras, al examen radiológico, creando una escala *standard*, que desde entonces ha prestado valiosos servicios.

La distinción entre lo genuino y lo falso, revelada por los "rayos miríficos", no se limitaba únicamente a las perlas y las piedras: con tanta certeza y con mayor rapidez que el análisis químico, los rayos X revelan —gracias a las distintas transparencias de los diversos elementos químicos— la falsificación de los alimentos. Esta última posibilidad de aplicación era esperada después de conocidas las propiedades de los rayos y por ello no sorprendió a nadie. Sin embargo, causó sensación, cuando W. König logró mostrar que los rayos permiten distinguir las

clásicas telas de los viejos maestros, de las copias, por fieles que éstas fuesen. Casi simultáneamente B. Hicks demostró en Londres que una mano criminal había borrado de un testamento los nombres de los herederos verdaderos, reemplazándolos por otros. El raspaje, invisible para la lupa, apareció con nitidez en la radiografía. El testamento sirvió como *corpus delicti* en un proceso e inauguró de esta manera, en el otoño de 1896, la admisión de los rayos X como un instrumento de prueba ante los tribunales. Poco después, el Banco del Estado de Rusia adoptó la radioscopia para el examen de valores sospechosos, y en Suiza, las autoridades aduaneras hicieron ensayos para aumentar mediante el empleo de rayos X, en determinados casos, la eficacia del control.

La extraordinaria riqueza de las afortunadas aplicaciones que los rayos encontraron en un lapso sorprendentemente breve desorientó un tanto a la opinión pública, inclinada a creer, en tratándose de rayos X, las cosas más descabelladas. Como la pila de Volta nueve decenios antes, el tubo de Röntgen dió origen, en los años que siguieron a su descubrimiento, a esperanzas y afirmaciones fantásticas. Edison habría logrado devolver la vista a ciegos con rayos X —anunciaron periódicos americanos—, provocando esa noticia un entusiasmo infundado. El rumor, también propagado por los diarios norteamericanos, de que los metales viles, convenientemente irradiados, se transformarían en oro, encontró muchos crédulos y provocó un fugaz renacimiento del viejo sueño de los alquimistas. Los partidarios del espiritismo creyeron llegado el momento de radiografiar el cuerpo astral del hombre y demostrar así su realidad física. La "fotografía de lo invisible" abrió un vasto campo a sus experimentos imaginarios. En dos exposiciones, en Londres y en Munich, se pudieron ver en el otoño de 1896 numerosas fotografías de pretendidos fantasmas, tomadas en sesiones espiritistas gracias a los rayos X.

Por otra parte, el descubrimiento de Röntgen provocó también temores risibles. El diputado Reed, del distrito electoral de Sommerset Country, en los Estados Unidos, propuso a la

asamblea legislativa la votación de una ley que prohibiera el uso de los rayos X en los gemelos de teatro¹. Las confusas ideas que reinaban entre el gran público en torno al procedimiento para tomar radiografías hicieron surgir toda clase de extraños escrúpulos. La policía imperial de Viena negó el permiso para una demostración pública con los rayos; en la puritana Inglaterra, una agrupación de clubs femeninos, reclamó a las autoridades medidas para proteger a la juventud de los peligros morales de "la nueva fotografía", y una casa de modas de Londres ofreció a las damas ropa interior a prueba de rayos X.

6. - Placeres y amarguras de la fama

I awoke one morning and found myself famous. Al igual que Lord Byron, autor de estas palabras, Röntgen también al despertar una mañana encontrése célebre. Desconocido antes de su descubrimiento, fuera de los círculos científicos, el modesto profesor se vió de la noche a la mañana colocado bajo la engeguedora luz de la fama mundial. ¡Él, que nada aborrecía más que la publicidad con sus ruidosos acompañamientos, se halló repentinamente en el foco de la curiosidad del mudo entero! El Instituto de Física, de la pequeña ciudad de Würzburg, se convirtió en la meta de centenares de reporteros y fotógrafos, plaga que no permitía a Röntgen cruzar el parque de la Universidad sin ser enfocado por una batería de aparatos. El gran anfiteatro del Instituto no bastaba ya para dar cabida al gentío que venía, no a escuchar, sino simplemente a ver al famoso hombre, y en las puertas de la sala se desarrollaban verdaderos tumultos. ¡Nunca la tranquila Universidad había vivido días parecidos!

Un diluvio de títulos honoríficos, diplomas y condecoraciones, cayó sobre el descubridor. La Sociedad Real de Londres le otorgó una de sus más altas distinciones, la medalla Rumford,

¹ Glasser, loc. cit., pág. 44.

la Academia prusiana y bávara lo nombró miembro, la Academia vienesa le brindó el Premio Baumgartner, la de París el Premio Lacaze, la Academia de Roma le envió su placa de bronce, la Sociedad médica de Nueva York, las Universidades de Würzburg, Giesen y Zürich le entregaron diplomas, la Municipalidad de Lennep, su ciudad natal, le confirió la ciudadanía de honor. El Emperador de Alemania le concedió la *Kronen*, Orden prusiana, el Rey de Italia le hizo comendador, el Príncipe Regente de Bavaria le otorgó la Real Orden de la Corona. ¡Todo esto en el decurso de pocos meses! La enumeración de las academias, universidades, sociedades físicas, médicas, filosóficas, y corporaciones científicas de otra índole, que más tarde le otorgaron títulos honoríficos, medallas y distinciones, llenaría varias páginas. Sólo dos entre los investigadores del siglo xx tuvieron a sus plantas coronas de laurel en tanta abundancia: María Curie y Alberto Einstein.

Tal afluencia de gloria y popularidad parecía al mismo Röntgen inconcebible. "¿Cómo ocurrió todo esto? —escribió al doctor Zehnder—. A veces creo soñar. De los homenajes que me fueron brindados usted no puede darse ni siquiera una idea. Estoy tan harto de los agasajos, que en lugar de agradecerlos cortésmente, quisiera contestar con groserías"¹. Ésas no eran meras palabras; en la medida que pudo, Röntgen eludió los honores. Declinó presidir el Congreso Nacional de los físicos y naturalistas alemanes que se reunió en Francfort durante el otoño de 1896, y rechazó la invitación del Parlamento alemán que deseaba homenajearle en una sesión solemne. Por supuesto, al Príncipe de Baviera no podía devolverle la condecoración, pero sí lo hizo con el título de nobleza implícito a la Orden que le fuera conferida.

En oposición al Príncipe bávaro, el Emperador Guillermo II no se contentó únicamente con honrar al ilustre físico; quiso también ver al descubridor y al descubrimiento. Röntgen se presentó, pues, el 13 de enero en el palacio imperial de Berlín,

¹ Carta al doctor Zehnder, 22 mayo, 1896, loc. cit., pág. 112.

e ilustró con una serie de experimentos, en presencia de la familia imperial, el valor de los rayos X. Conforme al deseo del Emperador, Röntgen acompañó sus demostraciones con una breve conferencia. Tanto las sencillas palabras, con las que Röntgen expuso su gran descubrimiento, como la extraordinaria personalidad del modesto profesor, causaron una profunda impresión sobre el monarca. Guillermo II ordenó más tarde que se le erigiese una estatua a Röntgen en Berlín. El escultor tuvo que esforzarse en convencer al sabio para que posara como modelo. Solamente cuando llegó de la Cancillería la nota oficial expresando que era deseo de Su Majestad ver en una plaza pública de la Capital la imagen marmórea del descubridor, abandonó Röntgen su resistencia. El monumento —la primera entre las numerosas estatuas que le fueran consagradas en los diversos países del mundo—, representa al físico genial con un tubo catódico en la mano, y adorna, si la guerra no la ha destruido, el puente de Potsdam en Berlín.

La interminable serie de honores acabó por convertirse para Röntgen en una pesadilla, y después de soportarla durante dos meses, resolvió huir de las fiestas, los admiradores y visitantes, con una fuga a Italia. "¡Qué felicidad, escribió el 21 de febrero a Zehnder, poder dejar medallas, condecoraciones, laureles y rayos X, para descansar como simple mortal en Italia!" A pesar de ello, postergó el viaje hasta el 9 de marzo, día en que envió al presidente de la Sociedad físico médica de Würtzburg su segunda memoria sobre los rayos X.

La segunda memoria de Röntgen, al igual que su primer trabajo, es tan concisa en la forma como de impecable exactitud en su contenido. ¡Bajo qué enorme tensión tuvo que haber ejecutado, entre las perpetuas excitaciones de aquellos febriles días, los experimentos que apuntalan su memoria! A modo de disculpa, en la introducción de su trabajo, indica las numerosas interrupciones que sufrieron sus investigaciones. Sin embargo, y a pesar de ello, los resultados no son menos fundamentales. Los rayos X, comprueba Röntgen, descargan a los cuerpos electrizados en el aire, sea su carga positiva o negativa. El proceso

es tanto más rápido, cuanto más intensos son los rayos; resulta indiferente que los cuerpos electrizados sean conductores o aisladores. Si el conductor electrizado, en vez de hallarse rodeado por el aire, lo está por un aislador sólido, la radiación ejerce la misma acción que cuando se expone la envoltura aisladora a una llama conectada a tierra. Además, el aire atravesado por los rayos X adquiere el poder de descargar cuerpos electrizados al ponerlos en contacto con él, de modo que resulta posible descargar cuerpos electrizados sin exponerlos a los rayos, sumergiéndolos en el aire antes expuesto a la acción de la radiación. Al igual que el aire, añade Röntgen, otros gases, como por ejemplo el hidrógeno, también tienen la propiedad de ionizarse en contacto con los rayos.

Estos resultados, esbozados en el escrito de Röntgen con pocas palabras, son de un gran valor práctico. En efecto, una vez reconocida la propiedad que tienen los rayos de descargar cuerpos electrizados y de ionizar el aire, debió surgir espontáneamente la idea de utilizar estas propiedades para determinar la intensidad de los rayos y su penetrabilidad a través de las diferentes sustancias. Las múltiples tentativas para medir la cantidad y cualidad de los rayos —mediante ayuda del efecto fotográfico o fluoroscópico— eran hasta la publicación de la segunda memoria de Röntgen tanteos más o menos inciertos. Con el descubrimiento del poder ionizador, fácilmente accesible a una determinación exacta, Röntgen dió una base firme a la dosimetría de los rayos.

No menos importantes para el desarrollo técnico de los tubos, son los resultados ulteriores de la memoria de Röntgen. Después de someter al examen una larga serie de sustancias, comprobó que, excitadas por el bombardeo catódico, eran capaces todas de engendrar rayos X. Es indudable que las diferencias cualitativas en el comportamiento de los cuerpos son sensibles: el platino es una fuente de radiaciones más ricas que, por ejemplo, el aluminio. La consecuencia práctica se impone, y Röntgen no dejó de establecerla: propuso emplear un anticátodo de platino en el tubo generador, colocándolo en el cen-

tro de la curvatura del cátodo cóncavo y oblicuamente a su eje.

Con el intervalo de un año, el 10 de marzo de 1896, sigue a la segunda memoria la tercera, el último escrito que Röntgen dedicara a los rayos X. Esta memoria, más extensa que las anteriores, completa con numerosos detalles el conocimiento de las propiedades de los rayos y aún más las de los tubos. Röntgen muestra que los rayos emitidos por un mismo tubo, lejos de ser homogéneos, consisten en una mezcla de rayos con diferentes intensidades, que son absorbidos por la materia en distintos grados; la composición de la mezcla de rayos depende esencialmente de la duración que tenga la corriente de descarga. Una serie de delicadas medidas fotométricas convencieron a Röntgen de que las intensidades de los rayos no varían con los ángulos bajo los cuales son irradiados por el anticátodo, a condición de que el ángulo no sobrepase los 80°. Resultado interesante, puesto que enseña cómo colocar el tubo y la placa fotográfica para evitar las pérdidas de energía en la radiación y producir imágenes netas. Otra serie de experimentos lo llevan al descubrimiento de que el aumento de la intensidad de la corriente primaria empleada en el carrete de inducción, aumenta la intensidad de los rayos, mientras deja invariable su calidad. Por último, Röntgen demostró que el poder de penetración —la "dureza"— de los rayos está en relación con la tensión aplicada al tubo y el grado de vacío que reine en el mismo. Röntgen encontró que los tubos se vuelven, después de un empleo prolongado, automáticamente duros a consecuencia de la disminución que la presión gaseosa sufre en ellos; se puede, sin embargo, regenerar los tubos introduciéndoles aire u otros gases con métodos convenientes, muchos de los cuales fueron enumerados por Röntgen.

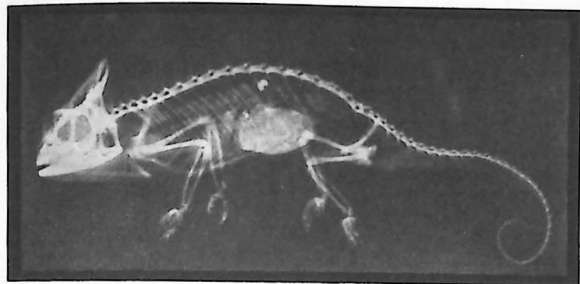
El alcance técnico del distingo introducido por Röntgen entre los rayos duros y los blandos es considerable. En efecto, los rayos demasiado duros atraviesan los huesos y por ello dan imágenes deslucidas; en cambio, los rayos demasiado blandos son absorbidos por los tejidos y tampoco rinden mejores servicios. Le interesa, pues, a la radiografía evitar a ambos. Con-

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

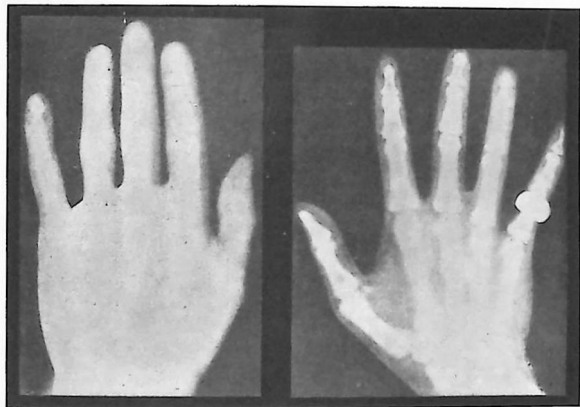
tentémos con estas someras indicaciones. Ellas bastan para darnos una idea de la rica variedad de resultados experimentales expuestos por Röntgen en su tercera memoria, fuente de una cantidad apreciable de sugerencias para el uso de los tubos.

Descubridor de los rayos y a la vez iniciador de sus aplicaciones prácticas, le hubieran sido fácil a Röntgen asociar a su gloria eterna una riqueza efímera. Una patente para el anticótodo descrito en su segunda memoria, patente que pudo haber obtenido sin mayor dificultad, hubiera convertido durante muchos años al mundo entero en su tributario. No le faltaron las proposiciones seductoras; numerosos industriales alemanes, ingleses y norteamericanos trataron de convencerle para que se asegurara la propiedad legal del tubo y les entregara la explotación de la patente. Pero Röntgen permaneció sordo a tan tentadoras sugerencias. Se consideraba magníficamente recompensado con el placer de haber descubierto al conocimiento humano un insospechado e inmenso dominio. Con un noble desinterés, del que hay pocos ejemplos en la historia, rechazó sacar ventajas materiales del formidable hallazgo y convirtió a su descubrimiento en un regio regalo a la humanidad.

El desinterés ejemplar del descubridor no impidió sin embargo que su repentina gloria provocara envidias entre los físicos, ya que muchos de ellos no poseían la grandeza humana de Röntgen. Antes de que concluyera el año de 1896, tan fecundo en acontecimientos, se esparcieron rumores malévolos tratando de disminuir los méritos del físico de Würzburg: Röntgen se habría reducido a explotar las investigaciones de sus precursores; en cambio, Crookes o Lenard serían los verdaderos descubridores de los rayos. Un gran diario de Munich se convirtió en el portavoz de los adversarios de Röntgen y propaló la atrevida calumnia de que el profesor se habría apropiado de un hallazgo cuyo mérito pertenecería a su ordenanza. Estas groseras tentativas para oscurecer el prestigio del físico genial se equivocaron de blanco tanto en Alemania como en el extranjero. No obstante, le produjeron días amargos al sensible y taciturno pensador, que no ignoraba el origen de estas



5 a. — CHAMALEON CRISTATUS. Imágenes radiográficas obtenidas por J. M. Eder y L. Valenta (10) de Viena en los meses de enero y febrero de 1896.



5 b. — Imagen de la sombra radiográfica de la mano de un sujeto normal, obtenida en Londres, en enero de 1896, por A. A. C. Swinton y J. C. M. Stanton.

5 c. — Radiografía de la mano de un hombre, en la que se ve una bala, realizada en París por A. Londe, en enero de 1896.

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

difamaciones. "Las infames calumnias —escribió Röntgen dos años antes de su muerte a Zehnder— tenían su origen en Heidelberg; el director del Instituto de Física, Quincke, a quien diera antes varios pisotones, las inventó, y su colega y amigo, Lenard, se encargó de propalarlas" ¹.

Quincke, físico de poca envergadura, no se había distinguido por ningún descubrimiento importante; detestaba a Röntgen, pues éste al verificar algunos resultados de Quincke los encontró erróneos y criticó severamente sus publicaciones. El verdadero adversario, éste ya de talla, era Lenard, profesor en Hidelberg e investigador de genio. No le fué posible perdonar nunca a Röntgen por haber logrado el formidable hallazgo, del cual él estuvo separado en sus experimentos por un pequeño paso. No dejó de reivindicar veladamente sus derechos como descubridor de los rayos X, y aprovechó todas las ocasiones que se le presentaron para dar libre curso a su odio contra Röntgen. "El profesor Siebeck de Heidelberg —escribió Zehnder a Röntgen— me aseguró que en el Instituto de Física (el instituto de Quincke y de Lenard) está prohibido pronunciar el nombre de Röntgen" ².

Los méritos de Felipe Lenard eran más que suficientes, y hubiera podido perfectamente prescindir de los laureles ajenos. Pero su ambición enfermiza lo impulsaba a codiciar los éxitos del prójimo. Con el mismo implacable odio que combatiera a Röntgen, persiguió más tarde a Einstein, reclamando la paternidad de la famosa ecuación fotoeléctrica establecida por el creador de la física relativista ³. Su vanidad sufrió una incurra-



6. — Radiografía efectuada por Röntgen de la mano de su esposa

¹ Carta de Röntgen a Zehnder, 15 de marzo de 1921, loc. cit., pág. 162.

² Carta de Zehnder a Röntgen, marzo 31 de 1921, loc. cit. pág. 164.

³ La ecuación fotoeléctrica establece que la energía cinética ($\frac{1}{2} m v^2$) de un electrón expulsado por un fotón luminoso es igual a la energía del fotón expulsador ($h\nu$) menos la fracción de energía empleada para arrancar el electrón del seno de la materia. Sin duda, Lenard comprobó que la velocidad del electrón expulsado crece con la frecuencia del fotón, pero le faltó dar el paso decisivo que debía conducir de su descubrimiento a la ecuación fotoeléctrica. Aquí también, como en el caso de los rayos X, perdió la última batalla, la única que otorga la victoria.

ble herida, en diciembre de 1901, cuando Röntgen, seis años después de su descubrimiento, obtuvo, como el primero entre los físicos del mundo, el premio Nobel.

Por una coincidencia singular, el físico de Würzburg y el Cresco de Estocolmo realizaron la magna obra que debía inmortalizar sus respectivos nombres, al mismo tiempo. En noviembre de 1895, Röntgen descubrió los rayos y Alfredo Nobel redactó su testamento. El testador falleció 13 meses más tarde y comenzó la tarea de poner en práctica las cláusulas testamentarias. Se crearon comisiones y subcomisiones, encargadas de proponer los candidatos a la Academia Sueca de Ciencias, suprema instancia para designar los laureados de física y de química. Los trabajos preliminares, lentos y complicados, duraron casi cinco años. Por último, el 19 de octubre de 1901, las consultas de las comisiones tocaron a su fin, y el 12 de noviembre la Academia se reunió para la sesión decisiva. Un extraordinario interés precedió en todos los países del mundo al dictamen de Estocolmo, el primero en la crónica del premio Nobel. La tarea del jurado era delicada: en la larga lista de candidatos figuraban nombres que representaban, cada uno de ellos, a una brillante conquista científica, y estaban escritos con letras indelebiles en la historia de la física. Lorentz, Zeeman, J. J. Thomson, Michelson, Rayleigh, Becquerel, Crookes, Lenard, tales eran los candidatos.

¿A quién discernir los laureles entre tantos genios, todos de reconocidísimo mérito? Las deliberaciones de los académicos duraron seis horas. Alfredo Nobel había estipulado, como criterio cardinal de la obra a coronar, la utilidad para la humanidad, dejando planteada la cuestión de si deseaba ver preferida la ideal ganancia del conocimiento puro o las tangibles ventajas de las aplicaciones técnicas. Los árbitros estaban de acuerdo que la primera vale como la segunda, pero no era dudoso que la síntesis de las dos condiciones sería preferible a cada una por separado. Los descubrimientos de los rivales de Röntgen eran todos de carácter teórico. Entre los méritos aducidos para el premio, únicamente los de Röntgen reunían el doble criterio:

haber enriquecido a la humanidad con el conocimiento de un nuevo fenómeno y haberla dotado con un nuevo y milagroso poder. Por eso los sufragios recayeron sobre el descubridor de los rayos X.

Röntgen partió el 7 de diciembre hacia Estocolmo. A bordo del vapor que lo conducía del puerto alemán de Saznitz a la ribera escandinava, a Trelleborg, se encontró con dos pasajeros que perseguían la misma meta que él: Enrique Jacobo van't Hoff, de Berlín, creador de la estereoquímica y descubridor de las leyes de la presión osmótica, y el médico Enrique Adolfo von Behring de Halle, descubridor del suero antidiftérico; al primero se le había otorgado el premio de química, al segundo el de medicina.

El 10 de diciembre fué fijado como el día para la solemne entrega de los premios. El salón de actos, presidido por el busto de Nobel, reunía a todas las notabilidades científicas y literarias de Suecia. En largos y elocuentes discursos fueron presentadas las obras de los laureados; las de Röntgen por el presidente de la Academia Sueca, el profesor Ohdner. Luego, el Príncipe heredero de Suecia hizo entrega de los álbumes con los diplomas y los premios. Van't Hoff y Behring disertaron sobre sus investigaciones y descubrimientos, tal como lo exigía una cláusula de la donación. Pero, el taciturno físico prefirió callarse. Solamente al día siguiente, durante el banquete de despedida, rompió su mutismo. Agradeció a los miembros del jurado y, emocionado, concluyó su breve discurso con las palabras de Siemens que antaño dirigiera a los estudiantes de Würzburg: "Si un fenómeno sumido en la oscuridad emerge súbitamente a la luz del conocimiento, si se encuentra la clave de una combinación mecánica buscada con afán durante mucho tiempo, si el eslabón que faltaba a una cadena de razonamientos aparece de pronto, todo esto da al descubridor el sentimiento triunfante de una victoria de la razón, que recompensa regiamente todas sus luchas, todos sus esfuerzos, y lo eleva a un plano superior de la existencia".

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

1. - Los rayos X en la física

EL DESCUBRIMIENTO de los rayos X marca en la física la señal de una nueva época. Antes de la hazaña de Röntgen, la mayoría de los investigadores creyeron en la ilusión de que la física sería un libro más o menos concluido, al cual ya no se le podrían agregar nuevos y sorprendentes capítulos. Pensaron que las mediciones, al ser cada vez más exactas, podrían corregir decimales en la descripción de los fenómenos, pero que la era de los descubrimientos fundamentales habría pasado para siempre. El prejuicio fué radicalmente desmentido por el hallazgo de Röntgen. A semejanza de un minero afortunado, encontró en la galería que ya parecía no merecer los esfuerzos de los buscadores de oro el fabuloso filón cuya riqueza, aún hoy, después de medio siglo, está lejos de ser agotada. Los rayos X desencadenan una verdadera lluvia de descubrimientos. Con ritmo vertiginoso se revelan nuevos fenómenos y surgen nuevas teorías: la radioactividad, la isotopía de los elementos, los cuantos, la relatividad, el átomo de Bohr, la mecánica ondulatoria, toda la estupenda serie de hallazgos que terminaron en pocas décadas por transformar el panorama del mundo físico.

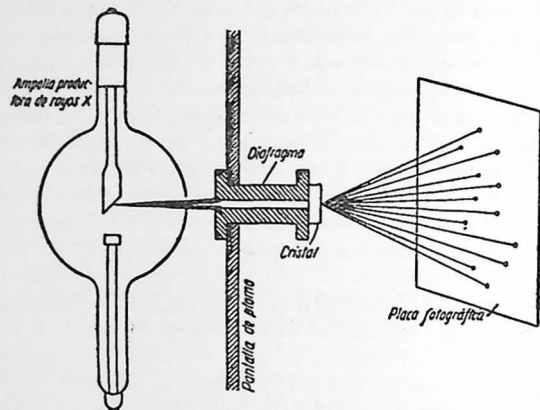
Las clásicas memorias de Röntgen dejaron planteado el problema de la naturaleza de los rayos X. A la seductora tarea de aclararlo se dedicaron en seguida varios físicos. El parentesco entre los rayos X y la luz, puesto en evidencia por el mismo Röntgen, no dejaba lugar a dudas. En efecto, los rayos X se propagan en línea recta, arrojan sombras bien delimitadas, atraviesan el espacio sin un transporte perceptible de materia, impresionan placas fotográficas, expulsan los elec-

trones de la materia, provocan fluorescencia, y no permiten que los campos eléctricos o magnéticos los desvíen. Este conjunto de propiedades, comunes a la luz y a la radiación X, sugirió desde el primer momento la idea de considerar a los nuevos rayos como vibraciones electromagnéticas excitadas en el seno de la materia por los impactos catódicos. El alemán Wiechert, el inglés Stokes, los holandeses Haga y Wind, intentaron establecer, con argumentos más o menos convincentes, la hipótesis de que los rayos serían oscilaciones del éter con una longitud de onda varios miles de veces más corta que la de la luz visible. A la teoría le faltaba, sin embargo, la prueba definitiva del experimento: los rayos X, tan semejantes, por las características mencionadas, a la luz, parecían diferir de ella por otras propiedades no menos importantes. Los prismas y los lentes que refractan la luz carecían de acción sobre los rayos X, que tampoco se dejaron polarizar. Las rejillas ópticas más delicadas fueron incapaces de difractarlos. Los investigadores trataron de demostrar que la velocidad de los rayos iguala a la de la luz, en la esperanza de demostrar así su identidad; pero, también aquí, tropezaron con dificultades insalvables. Los rayos eludían a todos los métodos que hasta la fecha permitieran determinar la velocidad de la luz común. Los físicos, decepcionados ante tantos fracasos, comenzaron a preguntarse si la radiación X no sería, a pesar de las alentadoras hipótesis de los primeros momentos, algo fundamentalmente distinto a todas las formas conocidas de la luz. Este escepticismo recibió, en 1904, su primer desmentido, cuando el inglés Barkla logró abrir una brecha en la asediada fortaleza del enigma: consiguió polarizar los rayos X.

La polarización es un fenómeno de disimetría, propio únicamente de las vibraciones que se efectúan perpendicularmente a la dirección de propagación del movimiento oscilatorio. Tal es, precisamente, el caso de la luz común: todas las vibraciones que la forman están contenidas en el plano perpendicular a la propagación de los rayos. Este plano permite a las vibraciones seguir infinidad de direcciones, ninguna de las cuales goza de privilegios en la luz natural. Sucede lo contrario con la luz

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

polarizada: todas las vibraciones están orientadas en una sola dirección. La luz reflejada por un espejo bajo cierto ángulo o refractada por sustancias birrefringentes está polarizada. A simple vista, la luz natural no se distingue de la polarizada; pero es fácil poner de manifiesto la diferencia, ya que la luz



Experimento de Laue. Difracción de rayos X.

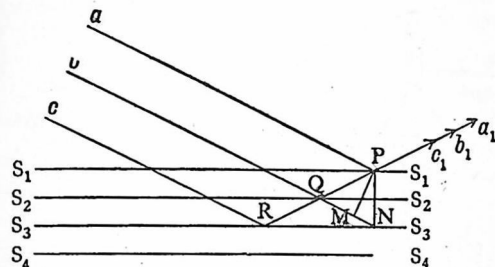
polarizada no se refleja ni refracta en las condiciones que lo haría la luz natural.

De ser verdadera la hipótesis que consideraba a los rayos X como oscilaciones del éter semejantes a las de la luz, cabía esperar que mediante dispositivos convenientes podrían polarizarse. Barkla mostró que la espera estaba justificada: hizo incidir un haz de rayos X sobre un bloque de elementos ligeros (carbono y parafina), y midió, registrándola sobre una película fotográfica, la distribución de la energía difundida en el plano perpendicular al haz primario. Pronto los resultados, confirmados por Haga, Basseler y otros, evidenciaron que el haz, por la difusión, había adquirido propiedades asimétricas, características de la polarización. Desde ese momento se tuvo la certeza de que los rayos X, si eran en efecto ondas, debían ser, como

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

la luz, ondas transversales. Pero, ante todo, ¿eran ondas? Las dudas subsistieron hasta 1912 y fueron disipadas cuando, gracias a una brillante idea del físico alemán Max Laue, la difracción de los rayos X se transformó en una realidad experimental.

El fenómeno de la difracción consiste en la desviación que

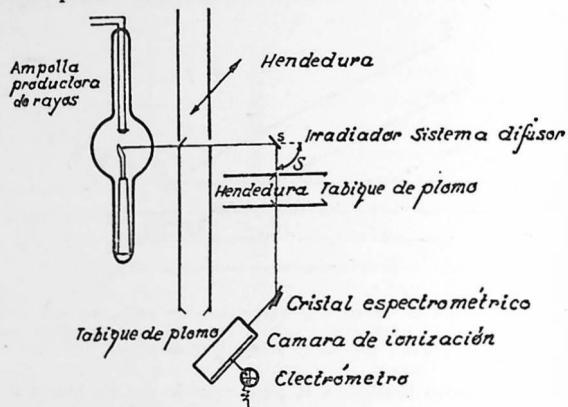


El dibujo ilustra la reflexión de una sucesión de ondas, por una serie de capas cristalinas igualmente espaciadas, cada una capaz de reflejar una pequeña porción de la energía de las ondas.

sufren los rayos luminosos al pasar rasando por los bordes de una hendidura estrecha, o al ser interceptados por objetos minúsculos cuyo orden de magnitud es comparable a las longitudes de las ondas luminosas. En todos estos casos, la sombra real no coincide con la sombra geométrica, y evidencia que la luz, conforme a la hipótesis ondulatoria, no se propaga rigurosamente en línea recta. La difracción se manifiesta en forma espectacular cuando los rayos son reflejados por una rejilla óptica, como son por ejemplo las admirables retículas de Rowland, placas metálicas surcadas por gran número de trazos paralelos y equidistantes. Después de ser desviados por los surcos de la rejilla, los rayos monocromáticos dibujan sobre una pantalla franjas alternativamente brillantes y oscuras. Estas franjas de difracción permiten determinar la longitud de onda de los rayos luminosos. Basta conocer la distancia entre la pantalla y la rejilla, el intersticio entre los surcos y el intervalo que separa a dos franjas, para calcular de inmediato la longitud de

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

la onda. Resulta evidente que, para producir efectos sensibles, el intersticio entre los trazos de la retícula debe ser de la misma magnitud que la longitud de la onda a medir. Ahora bien, las mejores retículas de Rowland, aun aquellas que tenían mil trazos por milímetro, fueron ineficaces para desviar los rayos X



Difracción de haces electrónicos realizada por Davisson y Garmer a base del experimento de Laue.

y producir sobre la pantalla fluorescente o fotográfica figuras perceptibles de difracción. A través de los intersticios de un milésimo de milímetro, los rayos X pasaron lo mismo que la luz por una ventana abierta. Dentro de la hipótesis ondulatoria, se impuso la conclusión de que las longitudes de onda de los rayos X eran demasiado pequeñas para que pudieran ser descompuestas con instrumentos creados por la mano del hombre.

Max Laue se planteó la pregunta: ¿No nos ofrece la naturaleza retículas mucho más finas?, y recordó que el mineralogista Haüy y el geómetra Bravais habían enseñado que la forma geométrica de los cristales no sería más que la traducción macroscópica de la disposición geométrica ultramicroscópica de sus moléculas o átomos. Si Bravais tenía razón, las moléculas

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

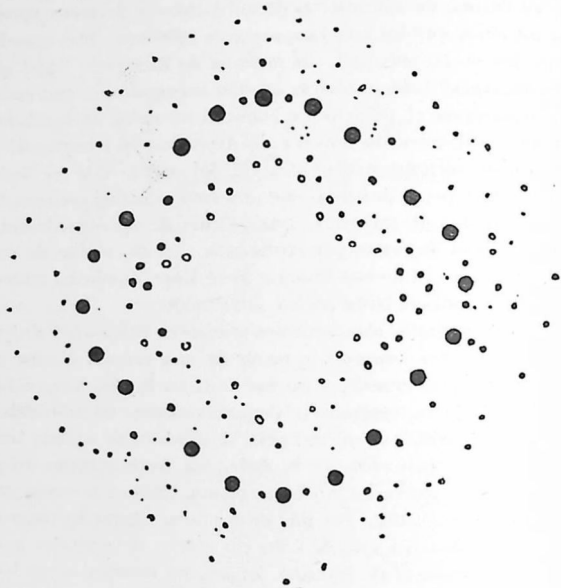
del cristal se presentaban alineadas en filas geoméricamente espaciadas, y estaban dispuestas en los nudos de mallas, cuyo conjunto formaría una retícula espacial; los intersticios entre los planos atómicos de tal retícula natural deberían ser más o menos del mismo tamaño que los diámetros de las moléculas —un décimo de millonésimo de milímetro— y deberían oponer a los rayos que los atravesaren surcos 5000 veces más cerrados que los de las más perfectas retículas de Rowland. En efecto, en un cristal dado, es posible calcular los espacios interatómicos basándose en el número de átomos contenidos en un átomo gramo —el conocido número de Avogadro— y a partir de la densidad, fácilmente determinable, del cristal. Los resultados mostraron que la distribución de los átomos forma, por ejemplo en el cristal de sal gema, una retícula de aproximadamente 50 millones de trazos por centímetro. Por las mallas de una retícula espacial de esta finura, razonó Laue, ni aun los mismos rayos X podrían pasar sin ser difractados.

Laue confió la idea a sus dos ayudantes, Friedrich y Knipping, los cuales lanzaron, a través de una delgada lámina de sulfuro de zinc cristalino, un haz de rayos X, que luego actuó sobre una placa fotográfica. “Permanecerá para mí inolvidable, escribió Friedrich en su memoria, el recuerdo de aquella hora en que, atormentados por la duda, nos encontrábamos en el laboratorio, dentro de la cámara oscura, frente a la vasija con el líquido revelador. Por fin, las esperadas figuras aparecieron sobre la placa. La idea de Laue era exacta: el fotograma mostraba un mosaico de manchas oscuras, un mosaico admirablemente simétrico.”

Los mosaicos obtenidos con el método de Laue son indudablemente muy distintos a las franjas de la luz natural difractada por una retícula de Rowland, pero la diferencia se explica ya que los cristales no son retículas de dos dimensiones, sino de tres, son retículas espaciales. Con los fotogramas de Laue la difracción de los rayos X concluyó por convertirse en una realidad, y dada la incontestable prueba de su naturaleza ondulatoria.

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

La demostración del carácter vibratorio de los rayos X no fué, sin embargo, el único regalo cognoscitivo del experimento de Laue, ya que también evidenció la realidad de los átomos y de su coordinación reticular en los cristales. Los puntos y manchas que forman los mosaicos en los fotogramas fueron,



Mosaico de Laue

en efecto, otros tantos testigos de moléculas o átomos individuales que habían difractado a los rayos X. Para el que sepa vislumbrar la armonía de los mosaicos de Laue, estas configuraciones atómicas poseen la misma y secreta hermosura que las constelaciones celestes. Las moléculas y los átomos flotan, semejantes a minúsculas estrellas, en el universo ultramicroscópico del espacio cristalino.

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

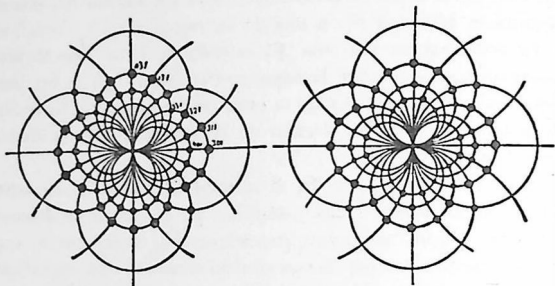
Además, la arquitectura de los cristales obedece a reglas bien establecidas. Veinte años antes de que Friedrich y Knipping iluminaran el primer cristal, dos matemáticos, el alemán Schönflies y el ruso Fedorow, habían demostrado que sólo existen 230 especies de redes compatibles con la estructura cristalina. En efecto, los rayos X confirmaron que los átomos del cristal siempre se disponen según una de las retículas que Schönflies y Fedorow habían previsto. El método de Laue brindó preciosas indicaciones sobre la estructura cristalina y a la vez permitió valorar la longitud de la onda de los rayos X. Su orden de magnitud es de un décimo de Angström¹; cien millones cubren un milímetro.

Por meritorio que fuera el método de Laue, estaba lejos de ser satisfactorio; había asimilado un conjunto de átomos dispuestos según un orden geométrico en el espacio a una rejilla constituida por trazos grabados sobre una superficie plana. Resultaba evidente que la analogía no podía ser rigurosa. En realidad, los fenómenos de difracción en el cristal son mucho más complicados que en una retícula plana. Por ello, la interpretación de los diagramas de Laue es una tarea difícil y se torna prácticamente imposible cuando la sustancia del cristal estudiado no tiene una composición química sencilla. En suma, tanto para la medición de la longitud de onda de los rayos X, como para la determinación de la estructura cristalina, el principio de Laue no ofreció más que las primeras y más groseras aproximaciones.

El principio de Laue fué completado y desarrollado en forma notable por dos investigadores ingleses, Guillermo Bragg y su hijo Lorenzo Bragg, creadores de un método exacto para medir las longitudes de onda de los rayos X y analizar la constitución íntima de los cristales. Los experimentos de los Bragg partieron de la teoría cristalográfica de Bravais. Según la doctrina del geómetra francés, toda superficie cristalina está for-

¹ Un Angström equivale a un décimo de millonésimo de milímetro, o un décimo de milimicrón.

mada por átomos dispuestos según los vértices de un conjunto de paralelogramos iguales. La distribución se repite, siempre idéntica, en una serie de planos equidistantes y paralelos a la cara considerada. Estos planos, integrados por moléculas geométricamente coordinadas, son los planos reticulares. Ahora



Mosaicos de Laue. Construcción geométrica.

bien, tal es la idea base de los Bragg: los planos reticulares actúan sobre la radiación X como si fueran espejos; reflejan los rayos que los golpean como los espejos lo hacen con la luz.

Cuando un haz de rayos X penetra en el cristal, cada uno de los planos refleja una débil porción de ellos bajo un ángulo de reflexión igual al de incidencia, como en el caso espejo-luz (ver ilustración pág. 119). Los rayos paralelos serán reflejados por planos reticulares sucesivos en la misma dirección y sus ondas deberán recorrer, para llegar a un punto dado, trayectos tanto más largos cuanto más profundo esté en el interior del cristal el plano reflector. Un cálculo sencillo muestra que la diferencia de marcha para dos rayos paralelos que alcancen dos planos reticulares consecutivos, es igual a $2d \text{ sen } \vartheta$, en que d es la distancia de los planos y ϑ el ángulo de incidencia. Ahora bien, si la diferencia de marcha es exactamente igual a la longitud de onda de los rayos estudiados, o a uno de sus múltiples enteros, los rayos reflejados interfieren en concordancia de fases; sus ondas se sumarán y resultará un intenso rayo reflejado. Pero si el

ángulo de incidencia varía, la cantidad $2d \text{ sen } \vartheta$ cesa de ser igual a un número entero de longitudes de onda y los rayos reflejados se superpondrán en discordancia de fase, anulándose mutuamente. En una palabra, los rayos X de longitud de onda dada sólo se reflejan en determinados ángulos, que satisfacen la relación fundamental de los Bragg $n \lambda = 2d \text{ sen } \vartheta$, donde λ es la longitud de onda y n un número entero.

La importancia fundamental de esta simple fórmula óptica es evidente: al medir el ángulo de incidencia de los rayos reflejados, permite calcular la longitud de onda de la radiación X, a condición de que la distancia de los planos reticulares en el cristal sea conocida. Recíprocamente, establecida la longitud de onda, la fórmula sirve para determinar la distancia de los planos atómicos. En ambas direcciones, el método de los Bragg condujo a resultados reveladores: gracias a él conocemos exactamente las longitudes de onda de la radiación X, y, gracias a él, hemos explorado la arquitectura admirable de los edificios cristalinos.

Los rayos X ocupan con sus longitudes de onda una amplia extensión en la gama de las radiaciones electromagnéticas. Las longitudes de onda de los rayos más duros no exceden de 0,05 Angström y son 20 mil veces más cortas que las de los rayos más blandos, que alcanzan hasta 1000 Angström. Los primeros se confunden con los rayos gamma de las sustancias radioactivas, los segundos con los rayos ultravioletas. Los rayos utilizados en las aplicaciones corrientes varían entre límites más modestos y se encuentran en el centro de los valores extremos; las radiaciones con longitudes de onda superiores a 10 Angström tienen poco interés práctico. A pesar de ello, su importancia científica es indiscutible. Sin los rayos con frecuencias muy bajas, como sin los de frecuencias muy altas, quedarían lagunas en la gran gama de las radiaciones electromagnéticas, cuya escala se extiende, en forma continua, desde las oscilaciones hertzianas con longitud de onda de 30 kilómetros, hasta los rayos cósmicos con longitud de onda de 1 cienmilésimo de Angström: ¡síntesis

magnífica de la energía radiante, que revela una unidad profunda en medio de la más asombrosa variedad!

Los Bragg lograron establecer las longitudes de onda de los rayos X mediante su fórmula óptica, utilizando algunos cristales de constitución simple, para los cuales, conociendo el número de Avogadro y la densidad, les fué posible calcular con anterioridad la magnitud d , o sea la distancia que separa los planos reticulares. Una vez obtenido el valor de la longitud de onda, los Bragg se sirvieron de los rayos X para analizar los cristales, y ésta es la parte más importante de su obra. Abrieron a la investigación un nuevo y ultramicroscópico universo, rico en sorprendentes hallazgos. Uno de los fenómenos inesperados, puesto en evidencia por los Bragg, es el de que en la mayoría de los cristales, las moléculas pierden su individualidad. En el cristal exaédrico de sal gema de 1 milímetro de arista se ocultan 5,5 trillones de imperceptibles cubos. Los átomos de cloro y los de sodio están dispuestos alternativamente según los vértices de una familia de cubos. Cada átomo de cloro se halla así en el centro de un octaedro, cuyos seis vértices están ocupados por átomos de sodio, y cada átomo de sodio en el centro de un octaedro, cuyos vértices son asiento de átomos de cloro. Por consiguiente, un átomo de cloro no está unido a un determinado átomo de sodio, del cual por otra parte está separado por una distancia de 2,81 Angström. En el cristal, la molécula de cloruro de sodio ha desaparecido, o mejor dicho, el cristal entero representa una única molécula gigante, en cuya constitución la afinidad química se confunde con la cohesión.

Este singular resultado es solamente un ejemplo, entre otros muchos, de los sorprendentes descubrimientos logrados en el análisis de cristales por los rayos X. Pero, sin duda, el más notable de ellos fué demostrar la inesperada universalidad de la estructura cristalina. Antes que los rayos X iluminaran el microcosmos cristalino, era común creer que la arquitectura cristalina era algo excepcional, limitado en la naturaleza a un número restringido de sólidos. El análisis con rayos X dió la

prueba de que casi todos los sólidos poseen una estructura cristalina. Sus cristales, en general pequeños, están dispuestos con tanta irregularidad, que forzosamente debieron escapar durante mucho tiempo a los medios de investigación. Aun hoy, en muchos casos, sólo los rayos X revelan su existencia. Metales y aleaciones, que se creyeron amorfos, están integrados por agregados de microcristales cuyo análisis es de un gran interés práctico. Los rayos X no sólo permiten identificar las formas cristalinas presentes en un lingote determinado, sino que aún más, revelan también las eventuales deformaciones de los microcristales, provocadas por los esfuerzos mecánicos —compresión, torsión, estiramiento— que el lingote estudiado haya podido sufrir. Igualmente, las fibras vegetales —algodón, yute, tamio—, como las fibras animales —músculos, tendones—, evidencian una estructura microcristalina accesible al examen debido a los rayos X. En general puede decirse que la clasificación otrora rigurosa entre cuerpos cristalinos y amorfos va esfumándose: el análisis de la materia con rayos X nos convence cada vez más de que las propiedades de simetría, característica primordial del estado cristalino, son en las sustancias inorgánicas y orgánicas mucho más frecuentes de lo que se había creído.

Los Bragg realizaron sus estudios en los dos años que precedieron a la guerra mundial: el impulso que dieron a los investigadores fué tan poderoso que le bastaron a un joven físico unos pocos meses para sobrepasar el magnífico resultado de sus dos compatriotas. Enrique G. J. Moseley, en 1914, logró llegar a mayores profundidades del universo ultramicroscópico que los Bragg, con la sonda de los rayos X.

Cuando un haz de rayos X incide sobre la superficie de un cuerpo, éste emite rayos X secundarios; los rayos secundarios también están presentes, junto con los rayos primarios, en la radiación provocada por el bombardeo de la materia del anticátodo por el flujo catódico. Ya en 1905, Barkla se percató de que la dureza de los rayos secundarios dependía de la sustancia engendradora. En el trayecto de la radiación interpuso unas láminas finas de aluminio y, al medir su capacidad de

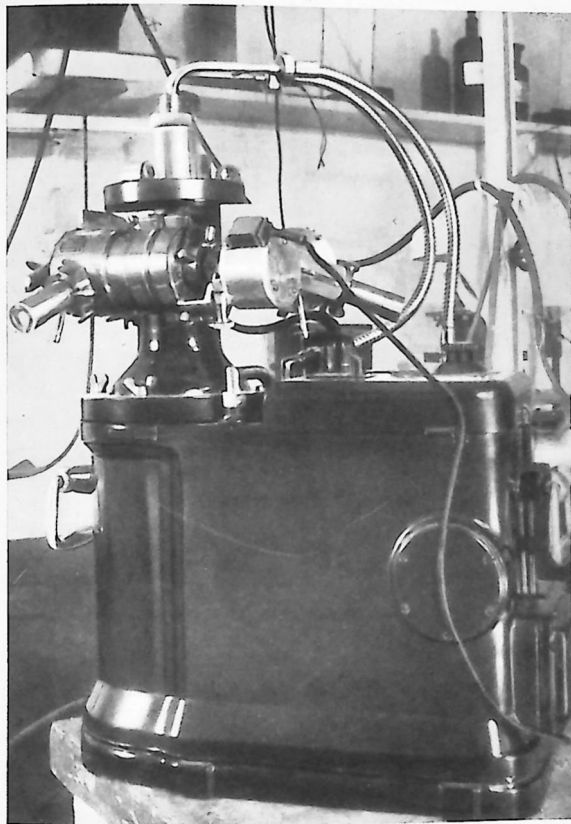
EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

absorción, comprobó que la energía de los rayos variaba de acuerdo con la constitución química de la superficie emisora: los rayos más penetrantes correspondían a los metales más pesados. En las observaciones de Barkla se ocultaba el núcleo de un gran descubrimiento y ellas fueron el punto de apoyo de los experimentos de Moseley.

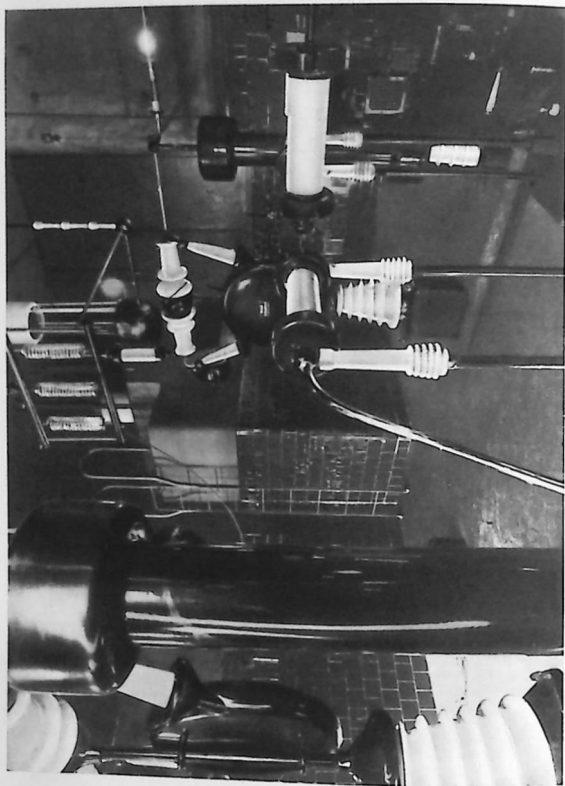
Los rayos más penetrantes son los de más alta frecuencia o de menor longitud de onda. Ya que los rayos secundarios —razonaba Moseley— varían de acuerdo con la sustancia emisora, y a cada especie de átomo corresponde una longitud de onda definida, los rayos secundarios podrían servir, al igual que los espectros obtenidos con luz natural, como característica de los elementos químicos. Por supuesto, el análisis espectral con rayos X estaba todavía por crearse. Moseley lo logró completando en una forma admirable las observaciones rudimentarias de Barkla y combinándolas con los métodos para medir longitudes de onda dados por Laue y Bragg.

Moseley construyó un tubo de Crookes provisto de un anticátodo intercambiable y sometió, sucesivamente, a los más variados metales al mismo grado de bombardeo con flujo catódico. Al atravesar un cristal giratorio, los rayos así engendrados fueron difractados e inscribieron su espectro sobre una placa fotográfica. Este simple e ingenioso dispositivo permitió a Moseley registrar para un gran número de elementos químicos sus espectros radiográficos compuestos de líneas como los espectros ópticos. Con un ritmo del que hay pocos ejemplos en la historia de la física, Moseley obtuvo en menos de seis meses los espectros de 38 elementos, desde el ligero aluminio hasta el pesado oro.

Lo que primero llamó la atención de Moseley fué la sencillez de los nuevos espectros. En efecto, ¡qué sorprendente diferencia! Mientras la complejidad de los espectros ópticos evidencia para un elemento hasta millares de líneas, los espectros radiográficos no presentan para ningún elemento más de cuarenta líneas y están ordenados en series como las líneas de los espectros luminosos. Los rayos más duros —los de longitud de



7. — Espectrógrafo de difracción de rayos X



8.—Fuente generadora del equipo de radiografía ultraprofunda de 600 Kw, utilizada en Buenos Aires en el Instituto de Medicina Experimental

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

onda más pequeña— forman la llamada serie K, un grupo más blando, la serie L, a las cuales siguen con crecientes longitudes de onda las series M y N, estas dos últimas descubiertas por los discípulos de Moseley. Algunos años bastaron para explorar estas líneas con tanta exactitud como las de los espectros luminosos que exigen, desde hace ocho décadas, los concentrados esfuerzos de una legión de especialistas.

En el espectro radiográfico de todos los elementos, las series de líneas conservan la misma y relativa intensidad, y posiciones casi iguales, uniéndose a medida que los pesos atómicos de los elementos en consideración aumentan. Contrariamente a lo que sucede con el espectro luminoso, el número de líneas de los espectros de rayos X no está sometido, de elemento a elemento, más que a pequeñas variaciones; de este modo la serie K posee de 4 a 6 líneas, la serie L de 10 a 14 y la serie M 6 líneas. No todas estas series están presentes en el espectro de cada elemento: la K solamente aparece en los elementos livianos cuyos pesos atómicos están entre el del sodio y el del neodimio. La carencia de los rayos K en los elementos más pesados que el neodimio tiene una razón experimental: la dureza de los rayos característicos aumenta con el peso atómico de los elementos, y su excitación exige, por consiguiente, la acción de energías crecientes. Esta condición ha hecho hasta ahora muy difícil, cuando no imposible, producir la emisión de líneas de la serie K para aquellos elementos de pesos atómicos elevados. ¿Dónde reside, sin embargo, la causa de la imposibilidad de producir los rayos K con elementos más livianos que el sodio? Resulta fácil adivinarlo: como la dureza de los rayos disminuye con los pesos atómicos decrecientes, los rayos X se tornan —remontando la gama de los elementos livianos desde el sodio hasta el hidrógeno— progresivamente más blandos, y terminan por confundirse con los rayos ultravioletas. En realidad, los rayos X de los dos elementos más ligeros, hidrógeno y helio, son sus rayos ultravioletas, o aun los rayos visibles de sus luces naturales.

Moseley comprobó que el espectro de rayos X es una carac-

terística inalienable del átomo de un elemento químico dado. Independiente de sus estados de combinación, permite identificar con seguridad el elemento, por profundas que sean las transformaciones químicas que haya sufrido. En todas sus metamorfosis el átomo elemental lleva consigo inseparablemente su característico espectro radiográfico, parte imperecedera de su individualidad. El espectro de una combinación química es simplemente la suma de los espectros de sus integrantes elementales. No es el menor de los méritos de Moseley el haber adivinado —sin el poderoso apoyo del modelo atómico de Bohr— el doble significado de la notable constancia del espectro radiográfico: demuestra, por una parte, que las combinaciones sólo ponen en juego las regiones periféricas del átomo elemental, y, por otra parte, que los rayos X deben tener su origen más allá de la periferia atómica, en las profundidades mismas del átomo. Como pronto veremos, las búsquedas ulteriores sólo sirvieron para confirmar la intuición genial de Moseley.

Cuando Moseley comparó los espectros radiográficos de los elementos, realizó la observación fundamental de que al progresar hacia los elementos de pesos atómicos más elevados, las líneas de la misma serie se desplazaban cada vez más hacia la región de las ondas cortas, vale decir en dirección a las altas frecuencias. En un diagrama dispuso los espectros de tal manera, que las líneas correspondientes se encontraron en forma de peldaños, cambiando los pesos atómicos consecutivamente en la dirección vertical. Su diagrama, con las líneas desplazadas, se parecía a una escalera. A cada elemento Moseley le asignó un nombre conforme al orden del elemento en el diagrama. Merced a su diagrama los elementos se encontraron de pronto agrupados en sucesión natural: así surgió un nuevo sistema de ordenación, regido tanto por la frecuencia de los rayos característicos de los elementos como por el número que Moseley diera a éstos, llamado hoy número atómico. Moseley comprobó la existencia de una relación sugestiva entre la frecuencia de los rayos característicos y el número atómico de un elemento dado:

la raíz cuadrada de la frecuencia es proporcional al número atómico, siendo, la primera, función lineal del segundo. Esta simple ley es quizás el mayor título de Moseley para la inmortalidad.

La tarea seductora de encontrar la sucesión natural de los elementos químicos y realizar una tabla de ordenación condujo, medio siglo antes de los estudios de Moseley, al investigador ruso Demetrio Mendelejeff y a su rival alemán Lotario Meyer, a establecer su famoso sistema periódico. Dispusieron los elementos en un cuadro, según sus crecientes pesos atómicos en columnas horizontales y de acuerdo a la semejanza de las propiedades químicas en filas verticales. La tabla patentizaba una definida periodicidad en la reaparición de caracteres similares, logrando así el doble propósito de salvaguardar el principio de clasificación ofrecido por el orden de los pesos atómicos crecientes, y de colocar dentro de un mismo grupo elementos unidos por propiedades fisicoquímicas comunes. De este modo, el mundo de la materia —caótica hasta entonces— presentaba una maravillosa ordenación. En la tabla de Mendelejeff varias casillas quedaron en blanco; exigían características químicas y pesos atómicos que no correspondían a los de ningún elemento hasta la fecha conocido. El descubrimiento de nuevos elementos que encajaban perfectamente dentro de los claros de la tabla demostró de modo decisivo el inmenso valor eurístico y la idea genial de Mendelejeff y Meyer. Verdad es que a pesar de los nuevos hallazgos persistieron varias lagunas en el cuadro, aceptadas con la esperanza de que algún día serían colmadas. Por el contrario, eran inexplicables ciertas irregularidades patentes en la tabla, sensibles disonancias en la armonía del sistema, que claramente indicaban que la distribución de Mendelejeff no podía, pese a sus éxitos, ser definitiva.

Era indudable que la tabla periódica ordenaba en principio los elementos de acuerdo con la sucesión de sus pesos atómicos, pero para respetar la analogía de las propiedades químicas, los sucesores de Mendelejeff se vieron obligados a realizar varias abrogaciones a la regla general. El argón, cuyo parentesco con

el helio y el neón era indiscutido, debía ser colocado, a pesar de su peso atómico más elevado, antes que el potasio, para poder conservarle en la columna de los gases raros el lugar que le asignaban todas sus características químicas. El telurio y el yodo, el cobalto y el níquel, exigieron otras tantas inversiones. A estos inconvenientes se agregó la imposibilidad de incluir en la tabla al grupo de las quince tierras raras, metales cuyas propiedades muy cercanas impedían separarlos y repararlos sobre las diversas columnas verticales.

Todas estas dificultades desaparecieron de golpe, gracias al descubrimiento de Moseley. Lo que les faltó a Mendelejeff y a sus sucesores, un criterio firme que les permitiera asignar a los elementos un lugar inequívoco en el sistema periódico, los espectros de rayos X se lo brindaron a Moseley. Los espectros radiográficos definieron el número atómico, y éste definió el lugar propio del elemento entre sus congéneres. Ninguna incertidumbre subsistió a este respecto: el potasio y el argón, el cobalto y el níquel, el telurio y el yodo, fueron colocados con exactitud en la tabla, aunque sus pesos hubiesen estado invertidos. Las tierras raras dejaron de ser obstáculos insalvables: en la sucesión de los pesos atómicos que se establecieron desde el hidrógeno, número 1, hasta el uranio, número 92, las casillas 57 a 71 les pertenecieron. En suma, los espectros de los rayos X fueron capaces por sí solos de clasificar los elementos dentro del sistema periódico, y el orden que establecieron concuerda siempre con el que resulta de las analogías físico-químicas entre ellos.

Cuando las investigaciones de Moseley rehicieron el sistema periódico, quedaron seis lugares vacantes en la serie de los números atómicos. Estas lagunas de la tabla permitieron anunciar la existencia de seis elementos desconocidos, con números atómicos dados y predecir su descubrimiento. Sin embargo, el poder profético del principio de Moseley no se detuvo aquí: la simplicidad del espectro radiográfico permitió calcular de antemano las líneas espectrales de los rayos X propios de los elementos conocidos: hazaña que, por lo general, resulta impo-

sible en las complejas líneas de los espectros ópticos. El descubrimiento de los elementos hafnio, masurio, renio e ilinio, justificaron de un modo admirable la exactitud de las previsiones. Sus espectros son idénticos a los exigidos por la teoría. No le fué concedido, por desgracia, a Moseley vivir su triunfo; una granada turca le mató durante la guerra mundial, frente a Gallípoli, y con él mató a uno de los más brillantes físicos del siglo: tenía 27 años.

Los servicios que los espectros de rayos X podían prestar al sistema periódico, rehecho por la introducción del número atómico, fué a partir de 1913 un hecho indiscutido. A pesar de ello, le faltaba a la obra de Moseley su coronamiento. Introdujo la noción capital del número atómico y descubrió su íntima relación con la frecuencia de los rayos X de los elementos, pero no explicó el sentido profundo del primero y no elucidó el porqué del segundo. Eliminó las irregularidades de la tabla de Mendelejeff, pero dejó en la penumbra la causa enigmática de la periodicidad de las propiedades químicas de los elementos. Ahora bien, todos estos hechos, el verdadero sentido del número atómico, la ley de Moseley, el retorno periódico de las características químicas, están en íntimo contacto unos con los otros. Haber dado la clave de esta interdependencia, y haber elucidado los orígenes de la radiación X, es el mérito memorable de la teoría atómica de Rutherford-Bohr.

A fines de 1913, cuando Moseley terminó sus investigaciones sobre los rayos X, el físico danés Niels Bohr publicó sus revolucionarias ideas sobre la constitución íntima del átomo. Ambas obras, de igual valor, se complementan de un modo admirable: los descubrimientos de Moseley le ofrecieron al modelo atómico apoyos experimentales, y las ideas de Bohr les dieron a los experimentos de Moseley la interpretación indispensable.

Los razonamientos de Bohr se basan en la ingeniosa imagen propuesta por el gran experimentador inglés Ernesto Rutherford, que comparó al átomo con un ultramicroscópico sistema solar. En su modelo, la masa del átomo se encuentra casi ente-

ramente concentrada en el núcleo, el sol del sistema, formado por cargas positivas, los protones, y rodeado por electrones planetarios cargados negativamente y animados de una enorme rapidez de traslación. Como el átomo normal es eléctricamente neutral, Rutherford admitió que también se ocultaban electrones en el núcleo y que el número de los planetarios es tal que neutraliza las cargas protónicas no cubiertas por los electrones nucleares. De este modo, el saldo neto de la carga nuclear del átomo corresponde al número de los electrones circundantes. Este número tiene, pues, una importancia capital para la arquitectura atómica: preside tanto la estructura nuclear como la constitución de la envoltura electrónica. Y aquí es donde se revela el profundo sentido del descubrimiento de Moseley. El número capital, igual a la vez a las cargas positivas del núcleo y al número de los electrones planetarios, es precisamente el número atómico. Si el número atómico del hierro es 26 y el del mercurio 80, es porque giran respectivamente en las dos especies de átomos 26 y 80 electrones, y porque 26 y 80 cargas eléctricas positivas existen en los dos núcleos.

El conocimiento del número atómico es uno de los más hermosos dones de los rayos X a la física. La identidad del número atómico con las dos magnitudes indicadas está en la base del modelo atómico. En el momento en que Moseley publicó sus resultados, la afirmación de que las cargas positivas del núcleo serían iguales al número de Moseley no era más que una genial intuición; hoy, ampliamente confirmado por los experimentos de Chadwick, es un hecho innegable. Chadwick bombardeó delgadas hojas metálicas con rayos alfa. Como las partículas alfa llevan cargas positivas, al pasar a través de la hoja, sufren, atraídas por las cargas de los núcleos atómicos del metal, desviaciones mensurables. La magnitud de las desviaciones permite calcular las cargas desviadoras: el resultado evidenció el perfecto acuerdo entre el número de las cargas nucleares y el número de Moseley.

En el modelo de Bohr, los electrones que giran en torno al núcleo no pueden describir más que ciertas y determinadas

trayectorias. Las órbitas estables —fué precisamente la idea cardinal de Bohr— son elegidas de tal modo que el impulso del electrón en rápido giro esté en una relación numérica simple con el cuanto de Planck, trozo de energía elemental e indivisible. Cada órbita electrónica corresponde así a un nivel de energía determinado, y los electrones se agrupan a distintas distancias del núcleo, sobre niveles consecutivos, cada uno de los cuales sólo puede contener un número fijo de electrones. Los elementos más ligeros, hidrógeno y helio, no poseen más que un nivel electrónico, los más pesados, el protactinio y el uranio, tienen 7. Todas las pruebas que nos brindan los espectros, los experimentos de ionización, las reacciones químicas y las teorías matemáticas, tienden a demostrar que el nivel de energía más cercano al núcleo —el nivel K— no puede contener más que a dos electrones; el nivel superior que le sigue —designado por L—, 8 electrones; el tercero, 8; el cuarto, 18 y así sucesivamente. El nuevo electrón que regularmente se agrega al átomo, cuando pasa en la tabla de Mendelejeff de un elemento a otro, va a colocarse en el nivel más externo hasta que éste se complete y el nuevo nivel aparezca. Como las propiedades químicas y la mayoría de las propiedades físicas dependen de los electrones periféricos, sin duda alguna, su variación rítmica, evidenciada por el sistema periódico, se presenta como una simple consecuencia de la formación, a intervalos regulares, de un nuevo nivel orbital que pasa —en la medida que se completa en el curso de un período— por las mismas fases caracterizadas por el número de electrones de que está formado. El número de los electrones del nivel exterior es, pues, idéntico en los elementos comprendidos en las columnas verticales del sistema periódico. La repetición rítmica de las características químicas en la tabla de Mendelejeff pierde así, gracias al modelo atómico de Bohr, su intrigante misterio.

Veamos ahora cómo explica el modelo atómico el mecanismo de la emisión de los rayos X. La irradiación de luz por el átomo —dice Bohr— está siempre acompañada por el salto que da un electrón de un nivel orbital superior a otro inferior.

La diferencia de energía entre los dos niveles es irradiada por el átomo, y la frecuencia del rayo emitido será tanto más elevada cuanto más grande es la divergencia de energía entre la zona de partida y la de llegada del electrón radiante. La energía perdida en el pasaje por el electrón define la frecuencia de la luz emitida, frecuencia que es revelada por su línea espectral. Como la frecuencia de los rayos X es muy alta, debe corresponder a saltos electrónicos entre niveles muy alejados entre sí. Si la suposición es justa, se impone la conclusión de que los rayos X son emitidos por electrones llevados en sus saltos desde los niveles superiores hasta las zonas más profundas del átomo. Todo obliga a admitir que ocurre así en efecto. En tanto que la luz visible —vibraciones de baja frecuencia— es engendrada por pasajes electrónicos entre anillos periféricos, los rayos X nacen en las regiones profundas del átomo, muy cerca del núcleo.

Guiados por esta imagen, sigamos las fases de la producción de rayos X en el tubo de Röntgen. El cátodo lanza proyectiles electrónicos dotados de enorme velocidad, que pueden alcanzar y sobrepasar los 200 mil kilómetros por segundo. Los electrones provistos de una enorme energía cinética golpean los átomos del tungsteno o del platino del anticátodo y penetran en el laberinto de los electrones satélites que giran en torno a los núcleos atómicos. Muchos proyectiles indudablemente yerran el blanco y pasan libremente por los espacios vacíos que hay entre los anillos orbitales; muchos otros golpean —dado su enorme número— un blanco por azar. Supongamos que el electrón alcanzado por el proyectil catódico integra un nivel orbital inferior; arrastrado por el choque fuera del átomo, el electrón dejará un lugar vacante en su envoltura, permitiendo a un electrón de uno de los niveles superiores cambiar de posición. El salto del electrón desde una de sus órbitas exteriores llena el lugar vacío y engendra un rayo X. Si la vacante se produce en el nivel más interno, por ejemplo el nivel K, el rayo X será de alta frecuencia, más de 10 trillones de vibraciones por segundo, y con pequeña longitud de onda 0,2 Angs-

tröm. La frecuencia del rayo emitido resultará menos alta y la longitud de onda mayor si el electrón arrastrado tenía su lugar en el nivel L o M.

Por diferente que sea la energía de rayos provenientes de las capas K, L o M, siempre ocurre que el nivel terminal del salto que engendra al rayo X está en las profundidades del átomo, en las cercanías del núcleo. Estos niveles interiores, libres de la influencia de los electrones periféricos, están solamente sometidos a la atracción del núcleo. Su frecuencia dependerá pues, del número de las cargas nucleares; las cargas más numerosas determinarán una frecuencia más alta y una longitud menor de onda. Como el número de las cargas nucleares es idéntico al número atómico, se concibe la estrecha relación entre el número atómico de un elemento y la frecuencia de sus rayos X característicos. Esta relación es precisamente el contenido de la ley de Moseley, que recibe así su sencilla y evidente explicación.

Los saltos electrónicos en los átomos de los elementos pesados producen, como ya lo dijimos, los rayos X. Para engendrarlos debemos provocar artificialmente los saltos característicos, dado que la naturaleza no nos ofrece espontáneamente rayos X. Sin embargo, su ausencia es sólo propia de la naturaleza terrestre. Si las recientes teorías astrofísicas están en lo cierto, los rayos X surcan el interior de las estrellas jóvenes como los de la luz visible los espacios terrestres y celestes. En efecto, hechos empíricos y consideraciones teóricas nos obligan a admitir que los átomos terrestres no pueden subsistir en los hornos enormemente sobrecalentados del interior estelar. En nuestro frío planeta los átomos son mecanismos complicados, con núcleos rodeados por un cortejo de electrones que giran sobre niveles escalonados. Pero en los hornos cósmicos, las temperaturas de decenas de millones de grados privan a los átomos de sus electrones satélites y descubren más o menos al núcleo. Con la pérdida de las envolturas electrónicas —portadoras de las propiedades químicas—, los átomos también pierden su individualidad química. Una vez desprovistos en el

interior estelar de sus anillos electrónicos, todos se parecen como un huevo a otro. La diversidad química de la materia, tal cual se nos presenta sobre la tierra, no es más que el privilegio de los mundos de temperaturas bajas. Desgarrados en el tumulto de las infernales temperaturas, despojados de sus envolturas, animados de altísimas velocidades, los integrantes atómicos, protones y electrones, hormiguean en el interior de las estrellas. En esta mezcla, en incesante chisporroteo, las partículas removidas por el calor se cruzan, se entorchocan y engendran radiaciones.

¿Cuál puede ser la radiación que nace en el corazón de una estrella? La barra de hierro calentada cambia de color con la temperatura: y cuanto más se calienta más se desplaza el color de su incandescencia hacia el extremo azul del arco iris espectral. A millones de grados, el rayo debe brotar más allá del violeta, alcanzando la sombra del invisible ultravioleta y aun sobrepasándola. Es evidente que la radiación será invisible. La ley de Wien definirá su lugar en el espectro: declara que el producto de la longitud de onda dominante por la temperatura, es siempre igual a una constante. Esta última es bien conocida gracias a los experimentos terrestres; no tenemos más que resolver nuestra ecuación, dando a la temperatura un valor de algunas decenas de millones de grados. La longitud de onda obtenida será cercana a los diez milésimos de micrón. La cifra es reveladora: ¡es la longitud de onda de los rayos X!

Terminemos aquí nuestra breve excursión por los espacios celestes y volvamos a la Tierra. En todo este capítulo hemos considerado a los rayos X como vibraciones del éter, semejantes a la luz y hemos insistido sobre los magníficos experimentos de Laue y de los Bragg, que demostraron el carácter ondulatorio de la radiación X. No queremos, por cierto, dudar de las deducciones de estos investigadores, pero no revelan más que una faz del fenómeno que, como Jano, tiene dos caras. Junto al aspecto ondulatorio, la radiación, sea la luz visible o los rayos X, presenta otro aspecto, el corpuscular. En todas sus

formas, la radiación consiste tanto en vibraciones como en granos materiales. Un rayo de luz o un rayo X es a la vez onda y corpúsculo; ambos aspectos, aparentemente antitéticos, no se excluyen sino que, por el contrario, se completan. Sólo la síntesis de los dos puede dar cuenta de los fenómenos observables de la radiación, que por sí sola cada una de las imágenes sería incapaz de interpretar.

La difracción de la luz fué la que permitió a los investigadores admitir, merced a ciertas analogías, la naturaleza ondulatorio de los rayos X; como revancha, fueron los rayos X los que aportaron la prueba crucial de la presencia en la luz, al igual que en ellos mismos, de corpúsculos materiales. La demostración lúcida de la realidad del grano de luz —fotón— se le debe al físico norteamericano Arturo Compton.

Si la luz, razonó Compton, consiste en fotones corpusculares, el choque de un fotón luminoso con una partícula de materia, por ejemplo con un electrón en el seno del átomo, debería ser parecido a la colisión de dos bolas de billar; el fotón tendría que impeler al electrón cediéndole parte de su energía, y rebotar por consiguiente con pérdida de energía. Ahora bien, quien dice pérdida de energía dice disminución de frecuencia. Si se lograra realizar con luz visible el experimento, el fotón de rayo azul, al perder en el choque energía, debería volverse fotón de rayo amarillo o rojo, y pondría en evidencia, con su metamorfosis, su realidad. ¿Sería posible realizar la partida de microbillar utilizando a los electrones como bolas impulsadas y a los fotones luminosos como bolas actoras? Con fotones de la luz visible, seguramente no. La energía del fotón luminoso, proporcional a su frecuencia, es demasiado pequeña para permitir al fotón impulsar el electrón golpeado. A semejanza de un perdigón que choca contra una roca, el fotón luminoso en colisión con un electrón rebotaría impotente para mover el electrón; saldría del choque sin pérdida de energía y, por consiguiente, sin disminución de frecuencia. Sería una simple reflexión de luz, carente de interés para el experimentador. Todo cambiaría si el fotón que chocara

con el electrón fuera un grano de rayos X de alta frecuencia. Su fuerza de choque contra el electrón dejaría de ser despreciable: después del choque el electrón sería impulsado, proyectado con una velocidad calculable hacia adelante, y el fotón se desviaría. Pero no saldría idéntico a sí mismo de la aventura; habría perdido parte de su impulso y su frecuencia habría disminuído.

Todas estas previsiones se cumplen en la realidad. La genial experiencia de Compton permitió determinar cuantitativamente el cambio de frecuencia sufrido por los fotones, comprobando su perfecta coincidencia con el valor calculado. En el experimento de Compton, los rayos X, de una frecuencia exactamente conocida, parten de una ampolla; llevados paralelamente por un sistema de diafragmas inciden sobre una sustancia difusora. Los fotones difundidos por ésta última, de acuerdo con un ángulo determinado, van a parar a un espectrógrafo. Las rayas espectroscópicas de la radiación difundida —los fotones que rebotan— evidencian en comparación con la radiación primaria un notable desplazamiento: su frecuencia ha disminuído. En el encuentro de fotones y electrones todo pasa como en el choque elástico entre corpúsculos: su comportamiento es idéntico al de las partículas materiales. “Ya se sabía, escribió el físico inglés Jeans, que el ejército de la materia se compone de soldados distintos, los átomos; ahora es evidente que el otro ejército, el de la luz, está también formado por soldados individuales, los fotones, puesto que las investigaciones efectuadas en el campo de batalla comprobaron que la lucha fué cuerpo a cuerpo.”

Las generaciones de físicos vivieron y murieron a partir de la mitad del siglo pasado, convencidos de que la naturaleza de la luz carecía de secretos para ellos: con la tesis ondulatoria todos los fenómenos luminosos hasta entonces conocidos les parecieron admirablemente explicados. Sin embargo, los razonamientos teóricos de Planck y de Einstein, junto con los experimentos de Millikan, sacudieron a comienzos de nuestro siglo las doctrina clásica. A pesar de ello, numerosos in-

vestigadores se atrincheraron en un escepticismo tenaz: no creyeron en la realidad del fotón. Admitir la existencia de corpúsculos luminosos —aun en la forma de trozos de energía radiante— les parecía una recaída lamentable en las hipótesis de la época newtoniana. El experimento de Compton eliminó las últimas dudas: transformó en 1923 la estructura granular de la radiación, de hipótesis, en hecho innegable. Así, fueron los rayos X los que permitieron asentarse sobre una base firme nuestro concepto actual de la naturaleza íntima de la radiación, y demostrar con el veredicto de la experiencia su doble aspecto ondulatorio y a la vez corpuscular. Las dos décadas transcurridas desde la experiencia de Compton nos han familiarizado con el sentido de la nueva doctrina, sólo en apariencia antitética. Al interrogante de qué es un Rayo X, dejado por Röntgen en suspenso y contestado parcialmente por Laue, respondemos hoy: al igual que un rayo de luz visible, un rayo X es una lluvia de fotones, cuya propagación es tal, que la presencia de cada fotón, en un lugar e instante dados, está determinada por una ley ondulatoria.

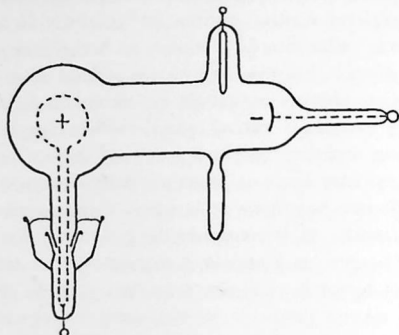
“Ver el esqueleto de un ser vivo, fotografiar el contenido de una caja cerrada, iluminar el interior de una barra metálica son maravillas de la física que difícilmente podrán ser superadas”, escribió Sylvanus Thompson en 1896, pocos meses después del descubrimiento de Röntgen. Desde entonces, los rayos X demostraron que pueden hacernos ver cosas mucho más escondidas que un hueso quebrado en un cuerpo humano o una grieta en un lingote. Con los ojos que obsequió a la ciencia se abrió a ésta la fina estructura de la materia, el admirable microcosmos del interior del átomo, y le fué revelada la naturaleza íntima del misterio tan fugitivo y tan profundo que es el rayo luminoso.

2. - Desarrollo de los tubos generadores.

A diferencia de la mayoría de los descubrimientos científicos, los rayos X pasaron en un intervalo extraordinariamen-

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

te breve del laboratorio del físico al dominio de la utilidad práctica. Algunos meses después de la primera publicación de Röntgen, los rayos encontraron gran número de aplicaciones de orden médico y técnico, que ya permitieron vislumbrar el



Tubo de Röntgen, ideado por Zehnder.

brillante porvenir reservado al magno descubrimiento. En el capítulo anterior bosquejamos la actividad de los hombres de ciencia que abrieron una huella en el campo virgen de la radiografía y radioscopía, y en nuestra síntesis de la física de los rayos echamos una ojeada sobre algunas de las aplicaciones más recientes. Seguir en sus millares de ramificaciones el desarrollo de las aplicaciones —estrechamente ligadas al creciente rendimiento de los tubos generadores— cae fuera de los propósitos de este libro.

Los dispositivos que Röntgen creó para la producción de los rayos le señaló a la técnica, durante quince años, el camino que debía seguir. Aparte de las modificaciones accesorias, el tubo descrito en las memorias del descubridor —de contenido gaseoso, cátodo cóncavo y anticátodo oblicuo— siguió siendo el modelo clásico. Conservando el instrumental de su iniciador, la técnica se limitó primero a aumentar el rendimiento del tubo, tanto en cuanto a la cantidad como a la calidad

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

de los rayos. El aumento de la cantidad de rayos era necesario para obtener imágenes radioscópicas más claras y para abreviar en la radiografía la duración de la exposición. Por otra parte, el aumento de la calidad o dureza de los rayos era indispensable para poder fotografiar determinados órganos del cuerpo humano y examinar la estructura de las capas espesas de los metales pesados: tareas ambas que requerían rayos de alto poder de penetración. Pronto, en ambas direcciones se realizaron progresos notables. Mientras Röntgen estaba, y con razón, ufano de haber podido fotografiar con una exposición de 12 minutos una bala en la recámara de un fusil de caza, la intensidad de los rayos logrados diez años después, mediante los tubos de 1905, permitieron realizar la misma hazaña con una exposición de solo 12 segundos. Por otra parte, gracias a los rayos más penetrantes, la radiografía de los órganos de la caja torácica y del abdomen eran en esa misma época hechos corrientes.

Este rendimiento creciente exigió modificar el instrumental. Como el tubo no transformaba más que una pequeña fracción (menos de 1 %) de la energía del flujo catódico en rayos X, y el resto se convertía en calor, era necesario evitar que el anticátodo fuera rápidamente fusionado o perforado. El platino, materia clásica en la construcción de cátodos, fué reemplazado por metales más resistentes al calor, tales como el tantalio o el tungsteno, y el tubo fué provisto a su vez de un dispositivo refrigerador. Disminuir la presión gaseosa y lograr presiones más altas en el tubo fueron las dos condiciones básicas para producir rayos más duros. Pronto se realizó una evacuación mejor de los tubos con las bombas perfeccionadas de Gaede, al mismo tiempo que el aumento de la tensión entrañó innovaciones más importantes. Los pequeños inductores utilizados por Röntgen cedieron su lugar a inductores más poderosos, con distancia explosiva hasta de un metro, y terminaron siendo desplazados por los transformadores de alta tensión.

Estos progresos se debieron en gran parte a la necesidad

de dar a la joven radioterapia los rayos duros que sus fines requerían. En la acción de los rayos X sobre la célula viviente, acción cuyas leyes todavía están lejos de ser exploradas, la física y la fisiología se reúnen en el signo de la luz. Los tejidos sanos son más resistentes frente a los fotones X que los enfermos, diferencia que constituye la base de su efecto terapéutico y permite utilizarlos especialmente para destruir a los tejidos cancerosos. Los servicios de los rayos X son particularmente apreciables en el caso en que el asiento de las células enfermas, en profundidad del cuerpo, no permita introducir agujas con sustancias radioactivas. Los Rayos de dureza conveniente alcanzan en el cuerpo, en cualquier lugar y profundidad, las células atacadas. Por depender, en gran medida, de la justa dosificación el evitar dañar demasiado a las células sanas y quemar la piel, el control de los rayos, tanto con respecto a su poder de penetración como a su cantidad, reviste en la radioterapia una importancia extraordinaria. En este terreno fué donde los tubos de Röntgen, a pesar de las modificaciones indicadas, revelaron su insuficiencia. La dureza de los rayos sujeta a la presión gaseosa no era constante; el gas se enrarecía automáticamente en el tubo al ser absorbido por las paredes, y a causa de ello los rayos se tornaban poco a poco cada vez más penetrantes. Diversos dispositivos a semejanza del osmo-regulador de Villard —introducción de pequeñas cantidades de gas en el tubo— atenuaron la falta sin poder mantener en perfecta constancia la presión del gas residual. A este inconveniente se agregó otro aún más grave. Los fines terapéuticos reclamaban poder cambiar con independencia la dureza y la intensidad de los rayos. Sin embargo, en la radiación de los tubos gaseosos de Röntgen, era imposible separar las dos magnitudes entre sí ligadas.

El físico norteamericano Guillermo Coolidge logró, en 1913, resolver el problema planteado al espíritu inventivo de los técnicos, de la necesidad de separar la cantidad y la cualidad de la radiación. En el tubo de Röntgen, los rayos catódicos nacían a expensas de los átomos ionizados del gas residual, en

cambio en el dispositivo de Coolidge, el flujo electrónico del cátodo es emitido por un filamento metálico, una espiral de tungsteno calentada al rojo por la corriente de una batería de acumuladores. Gracias, pues, a la corriente se puede regular a voluntad la temperatura del filamento y con ella el número de los electrones emitidos, los cuales, por sí solos, determinan la cantidad de rayos X; por otra parte, variando la tensión aplicada al tubo, se variará, con plena independencia de la cantidad, la dureza de los rayos. Tal es el principio del tubo Coolidge, arquetipo de los tubos hoy día en uso.

Una de las ventajas del tubo de Coolidge es que su vacío casi perfecto permite sin inconvenientes el empleo de tensiones muy altas; mientras que Röntgen no pudo lograr en ninguno de sus experimentos tensiones superiores a los 30.000 voltios. Hacia 1920 los tubos accionados por tensiones de 250.000 voltios no fueron raros. El vigoroso desarrollo de la radioterapia, como las necesidades del examen industrial de materiales, reclamaban rayos cada vez más duros. Hoy día, en los hospitales, los poderosos instrumentos radioterapéuticos permiten el empleo hasta de 1.000.000 de voltios. Existen tubos de rendimiento más gigantesco, de 3.000.000 de voltios, con los que se trabaja en algunos institutos experimentales de los Estados Unidos.

El poder de penetración de los rayos emitidos por los poderosos tubos modernos es extraordinario. Los primeros röntgenólogos consideraron una hazaña iluminar la estructura íntima de una lámina de acero de algunos milímetros de espesor. Hoy, los rayos engendrados por una tensión de 350.000 voltios exploran, con exposiciones de una hora, placas de latón de 10 centímetros, placas de hierro o acero de 12 centímetros, bloques de aluminio de 70 centímetros de espesor. Por imponentes que sean estas cifras no significan el rendimiento máximo y representan los trabajos que se efectúan a diario. Tan admirable como el enorme aumento de la dureza de los rayos, es su aumento de intensidad, tan necesaria para obtener radiogramas netos mediante cortas exposiciones. El primer ra-

EL DESCUBRIDOR DE LOS RAYOS X

diograma de Röntgen —la célebre fotografía de la mano de su mujer— exigió treinta minutos de exposición. Ahora, las instantáneas de 1/1000 de segundo reproducen cualquier parte del cuerpo humano ¹.

Los magníficos progresos del rendimiento de los tubos, conjuntamente con la facilidad de su manejo, ensancharon enormemente el campo —ya vasto en la época de Röntgen— de las aplicaciones radiológicas. En el inmenso conjunto de la ciencia experimental y de la técnica industrial, son pocos los rincones en que los rayos X no hayan penetrado y demostrado su utilidad, cuando no su indispensabilidad. Resultaría imposible ofrecer un cuadro completo o una clasificación exhaustiva de los millares de aplicaciones; las grandes obras especializadas, como la de G. L. Clark ², no abarcan más que una fracción. La tabla que sigue, tomada del trabajo de Clark, resume las ramas más importantes de la röntgenología práctica.

¹ Hay que destacar que las placas actuales, más sensibles que las de la época de Röntgen, tienen también su parte en el extraordinario acortamiento del tiempo de exposición.

² G. L. Clark, *Applied X Rays*, New York, 1940.

NUEVOS OJOS LOS RAYOS X

Aplicaciones röntgenológicas más importantes

TEMA	FINALIDAD	PROPIEDADES QUE PERMITEN LA APLICACIÓN
Espectroscopia	Identificación de los elementos químicos, número atómico, niveles de órbitas electrónicas, estructura interna del átomo.	Radiación característica de los elementos químicos.
Radiología médica a) radiografía b) fluoroscopia	Diagnóstico (fotográfica). Diagnóstico (visual).	Diferente grado de absorción por los tejidos y los huesos.
Radioterapia	Tratamiento del cáncer.	Efecto letal para las células anormales.
Radiografía industrial	Examen de la estructura gruesa de materiales.	Diferencias de absorción.
Radiografía de obras de arte	Examen de las pinturas antiguas.	Diferencias de absorción.
Fotoquímica	Efectos químicos (efecto fotoeléctrico, oxidación, reducción, activación del agua, etc.).	Liberación de electrones con alta velocidad, ionización.
Radiobiología	Identificación de células y de tejidos.	Sensibilidad específica de las células y los tejidos.
Radiogenética	Efecto mutacional en dosis no letales.	Acción sobre los cromosomas y las genes.
Radiocristalografía y química de los cristales.	Estructura molecular y atómica de los cristales.	Difracción de los rayos X.

VEJEZ Y MUERTE DEL DESCUBRIDOR

I. - Su Excelencia

LOS SIGLOS no son más que cortes, divisiones artificiales, en la prosecución ininterrumpida de los acontecimientos que forman la historia de una ciencia. Sin embargo, el descubrimiento de Röntgen clausura en realidad y de un modo natural al siglo XIX, y es seguido por una verdadera avalancha de hallazgos, entre los cuales, el más importante de ellos es el descubrimiento de la sorprendente y enigmática radiación del uranio, torio, polonio y radium, que acaece en los últimos años del viejo siglo, sin hallar una explicación hasta 1901, en las primeras horas de la nueva centuria.

La iniciación del nuevo siglo trajo un cambio decisivo en la vida de Röntgen. El éxito de los rayos X era demasiado grande para permitir a su descubridor continuar como profesor en la Universidad de una ciudad de provincia. Rechazó ofrecimientos seductores de cátedras, pero le fué imposible declinar el de la Universidad de Munich. El gobierno del Príncipe Regente estaba enfadado debido a que Röntgen había rechazado el título de noble bávaro. Negarse a aceptar la dirección del Instituto de Física de Munich hubiera sido una grave ofensa, tanto más cuanto que su propia Alteza sugirió la invitación. Röntgen impuso condiciones y todas ellas fueron aceptadas. A pesar de las nuevas posibilidades se despidió con nostalgia, en abril de 1900, de Würzburg, lugar en que transcurrieran los años más felices y productivos de su vida.

Röntgen nunca dispuso de medios para la investigación tan ricos como los de su Instituto en Munich, y sin embargo, dejó pasar —desde el momento de su último trabajo— diez

VEJEZ Y MUERTE DEL DESCUBRIDOR

años sin presentarse a la palestra científica con una nueva memoria. Es el único período de su carrera que presenta un vacío semejante. Tal esterilidad, sorprendente en la plenitud de su edad, sería en el caso de Röntgen, que contaba en su favor con medio centenar de publicaciones, inexplicable si no mediaran motivos de orden psicológico. En efecto, Röntgen tenía la plena conciencia de haber alcanzado con su magnífico hallazgo y sus tres memorias de Würzburg el apogeo de su trayectoria, a la que inevitablemente debía seguir un descenso. Como primer laureado del premio Nobel estaba en la primera fila de los físicos del mundo entero, y sabía que no le sería dado por segunda vez realizar nada comparable a su obra magna. Por ello, como hizo Volta después de descubrir la pila, prefirió no publicar nada. Pero, a diferencia del físico italiano, no se contentó con dormir sobre sus laureles. Ideas no le faltaron, y pasó meses en su laboratorio para someterlas al veredicto de la experiencia.

¿Cuáles fueron las ideas que llenaban su tiempo? ¿Hacia qué problema se encauzaron los experimentos de aquellos años? Nadie lo sabe. Redactó los resultados para finalmente guardarlos en su escritorio o destruirlos¹. Por último, cuando después de un decenio rompió el silencio, fué para retomar uno de sus viejos problemas, las propiedades eléctricas de los cristales, completando con algunos detalles, en una nueva memoria, los resultados de sus trabajos anteriores. Más tarde, en los años 1912-14, siguieron otras tres publicaciones de semejante índole. Sin embargo, la época de las grandes hazañas, el glorioso período de Würzburg pertenecía ya definitivamente al pasado.

Con creciente celo se dedicó a la tarea de formar alumnos. En este momento en que la luz, que otrora lo había llevado de hallazgo en hallazgo, comienza a eclipsarse, su genio pedagógico brilla más que nunca. Una larga serie de trabajos notables salen de su Instituto, que supo transformar, de Gabinete

¹ Entre los papeles quemados por voluntad testamentaria de Röntgen, había varios manuscritos inéditos.

te de Física que era antes de su llegada a Munich, en un verdadero centro de investigaciones. Era natural que los mejores discípulos que rodeaban al prestigioso maestro fueran, sobre todo, atraídos por problemas relativos a los rayos X. Mientras que Röntgen, después de su memoria de 1897, ya no participó directamente en la exploración del terreno que había descubierto, sus alumnos, Angerer, Bassler, Friedrich y otros, contribuyeron con valiosos aportes a su ensanchamiento. Sus trabajos sobre el efecto calorífico, sobre la polarización y la distribución de intensidades en los rayos X, llevan de un modo inconfundible el trazo personal del maestro.

Así llegó el año de 1905 trayendo consigo el décimo aniversario del descubrimiento de los rayos X. Las luces del reflector de la curiosidad pública enfocaron de nuevo el tranquilo retiro de su descubridor. Una vez más los honores sociales y académicos fueron depositados a sus plantas. Los físicos de Alemania conmemoraron la fecha colocando una placa de mármol en el frontispicio del Instituto de Würzburg, y los radiólogos se reunieron en Berlín, en una solemne sesión, para fundar una "Sociedad de Röntgenistas", y eligieron al iniciador de su arte por presidente honorario. Medio centenar de ciudades de todos los rincones del globo bautizaron plazas, avenidas y calles con el nombre de Röntgen. La capital del Imperio intentó arrebatar a la capital de Baviera al investigador a quien, ya en vida, la humanidad acordaba laureles que en general no adornan más que las frentes heladas de los muertos. Röntgen, en esta época, sexagenario, cansado ante la perspectiva de cambiar otra vez el escenario de sus actividades, declinó el ofrecimiento, y prefirió seguir en Munich. El Príncipe Regente, Leopoldo, interpretó la decisión de Röntgen como un testimonio de su lealtad a Baviera y le otorgó en 1908 el título de Excelencia. Este gesto debió divertir a Röntgen, ya que esta pomposa distinción, rara para un físico, era el título dado a los embajadores y a los viejos generales.

Un pequeño episodio acaecido en esa época ilustra mejor

que los grandes elogios académicos la extraordinaria popularidad del descubridor de los rayos X.

Röntgen, cazador apasionado, había adquirido una casa de campo en Weilheim, entre las majestuosas montañas de la alta Baviera. El pintoresco refugio, su residencia durante las vacaciones, servía al sabio como punto de partida para sus frecuentes cacerías; a menudo ocurrió que en la afiebrada persecución de un ciervo se extraviara en cotos ajenos. Una vez fué sorprendido en flagrante delito por un severo guardabosque. Éste procedió al interrogatorio del "delincuente": "¿Su gracia?" "Conrado Röntgen". Este nombre, famoso entre todos, no era desconocido ni siquiera por el guardabosque. "¡Cómo —preguntó incrédulo—, usted pretende ser el médico que inventó los rayos!" "No soy médico, respondió Röntgen sonriendo, pero, a pesar de ello, soy el descubridor de los rayos X". Al severo guardia forestal le pareció increíble que un cazador furtivo, armado con un viejo fusil y tocado con sucia gorra, fuera el famoso doctor Röntgen. Creyó que era un farsante y lo arrestó. Llegó con el implacable guardia a una aldea cercana, donde Su Excelencia tuvo que pasar algunas horas en los calabozos de la gendarmería, hasta que un llamado telefónico a Munich aclaró la situación.

Los largos viajes emprendidos durante las vacaciones —otra su principal distracción— se espaciaron con los años; la salud enfermiza de la señora de Röntgen los redujeron cada vez más, y el sabio, esposo modelo, no dejaba nunca sola a su mujer durante mucho tiempo. Por ello, se contentó con las cacerías en los alrededores de Weilheim. A pesar de sus años solía levantarse al amanecer para ponerse en acecho a la espera de ciervos o gallos monteses. La seguridad de su puntería era su orgullo. Sus recuerdos de cazador fueron el tema de muchas cartas al doctor Zehnder, y varias dejan entrever su nostalgia por los tiempos pasados, con sus luchas y triunfos: "Hoy, a las cuatro de la mañana —escribe a su amigo— he cazado en Weilheim dos gallos silvestres. Me levanté a las dos y marché, linterna en mano, tres cuartos de hora para llegar

al lugar de la caza. Estoy contento de este éxito. Usted ve que con el tiempo se cambia la estimación del éxito y el objeto del cual uno está orgulloso”¹.

La nostalgia del pasado alcanzó también al círculo íntimo de camaradas que embelleciera sus días en Würzburg y que le faltaba en Munich. Su fama y los altos títulos recibidos elevaron en torno suyo una muralla que cerraba el paso a nuevos amigos.

Llegó lentamente a la vejez. Su memoria, antes capaz de retener por tiempo indefinido lo que una vez leyera, portentoso espectáculo para todos los que le conocieron, comenzó a flaquear. A partir de 1910 contemplaba la idea de retirarse de la enseñanza. “El pensamiento de retirarme de los cargos docentes —escribe a su amigo— ya no me parece tan alocado. Percibo muchos síntomas de vejez y el nuevo año lectivo comienza para mí con una fiebre de candelijas”².

En realidad le causaba demasiado placer la enseñanza para que pudiera fácilmente renunciar a ella. Sus clases atraían a los estudiantes de todos los países del mundo, hasta de la misma China y del Japón. Ningún físico de Alemania, como el viejo maestro de Munich, vióse escuchado en esa época por un auditorio tan internacional. La afluencia de discípulos extranjeros cesó de golpe cuando, en el verano de 1914, estalló la guerra.

¡Cuán lejos estaban los años juveniles!, ¡cuán lejos la época en que Röntgen, libre de toda clase de nacionalismo, había rechazado apasionadamente el derecho a acudir a los cañones y ametralladoras, cualesquiera que fueran los pretextos aducidos por los estadistas para motivar su uso! Entonces Röntgen, tanto holandés como alemán, se consideraba ciudadano del mundo. Sin embargo, su idealismo de otrora, su fe en la conciencia única de la humanidad entera, no resistió a la in-

¹ Carta al doctor Zehnder, fechada el 3 de mayo de 1908, loc. cit., pág. 116.

² Carta, 11 setiembre, 1910; loc. cit., pág. 130.

fluencia de los decenios pasados en el ambiente supernacionalista de las universidades alemanas. Röntgen, profesor, no compartía los conceptos políticos de Röntgen estudiante. Como la mayoría de las cumbres intelectuales de Alemania, creía en la misión superior del Imperio germánico y achacó la trágica culpa del sangriento conflicto a las naciones aliadas contra las potencias centrales. “No debemos dar importancia —escribe en diciembre de 1914— a las noticias que llegan del exterior. Los meses pasados nos han enseñado que los países extranjeros carecen de la comprensión de los métodos y fines de Alemania. Debemos aceptar este hecho. Las condiciones no se tornarán mejores más que después de conseguir una paz sensata y favorable para nosotros”.

Por supuesto no sería justo pedirle a un septuagenario que se liberase de las ideas que han crecido con él, ya que las celebridades científicas más jóvenes de la Alemania de entonces y de la de hoy tampoco pudieron salvaguardar la independencia de sus juicios. Resulta doloroso registrar que Röntgen firmó la famosa “proclama de los 93 intelectuales”. Se contó entre los primeros que sacrificaron su oro al altar de la patria; el día en que Inglaterra declaró la guerra entregó la áurea medalla Rumford, donación de la Real Sociedad de Londres, al Ministerio de Guerra, y cuando los Estados Unidos intervinieron en el conflicto hizo lo propio con la medalla Barnard, que la Universidad de Nueva York le confiriera.

La máquina bélica rodaba incontentible, y un reguero de sangre jalonaba su paso. Mientras el corazón del viejo físico palpitaba por la victoria de su patria, los rayos con que había dotado a la humanidad, aliviaban en los campos de batalla los sufrimientos de los soldados heridos, sin fijarse en su nacionalidad. Este hecho no fué desconocido ni aun en medio del odio acumulado por ambos bandos durante la guerra. Cuando Röntgen, en el transcurso de la sangrienta contienda el 27 de marzo de 1915, cumplió los 70 años de edad, el Emperador Guillermo le envió telegráficamente sus mejores augurios, y el mariscal von Hindenburg agregó a estas felicita-

ciones la Cruz de Hierro. Pero, de lo que el físico no se enteró en aquel momento fué que su aniversario lo festejaron también los radiólogos norteamericanos voluntarios en las trincheras de Francia: "Nos encontrábamos, escribe Beeler de Indianápolis, en las trincheras cercanas a Toule; supimos por casualidad que los radiólogos de los hospitales alemanes celebraban el aniversario del profesor Röntgen. Los radiólogos americanos apreciamos el descubrimiento del maestro tanto como los alemanes, y por ello decidimos realizar un pequeño homenaje. ¡Sí, brindamos con coñac francés por la salud del viejo profesor germano! No podrán decir que somos estrechos de espíritu o llenos de prejuicios. Sólo anhelamos que el anciano profesor de Munich sepa comprendernos"¹.

Hasta el fin de la guerra, Röntgen, como tantos otros compatriotas, estaba firmemente convencido de la victoria de las armas alemanas. Los dramáticos acontecimientos del otoño de 1918, la fuga del Emperador a Holanda y la derrota del ejército que había creído invencible, le produjeron al investigador sorprendentes y amargas decepciones. La revolución que siguió al armisticio transformó, en pocos meses, a Alemania en un país ajeno al corazón del viejo sabio, ligado a los recuerdos del antaño poderoso Imperio. Los nuevos dueños del país, las nuevas instituciones, lo llenaron de desconfianza. Dudaba que la Constitución republicana fuera adecuada al espíritu alemán.

"Si las condiciones de vida —escribe— han de ser mejores bajo una constitución republicana o una monarquía parlamentaria, es problema sobre el cual no puedo opinar. Es verdad que en Suiza pude observar las bondades que tiene la república, pero no estoy convencido de que el pueblo germano, políticamente sin educación, pueda vivir, como el pueblo suizo, bajo esta forma gubernamental. América también nos ofrece un ejemplo que nos reafirma en la idea de la república como

¹ *Indianápolis News*, 17 de febrero de 1923; reproducido Glasser, *loc. cit.*, pág. 104.

buena forma estatal. Lo precario de mis experiencias políticas no me permite decidir, si mi preferencia por un gobierno monárquico, como lo conocí en Holanda y existe en Inglaterra, es justificada. ¡Pobre, pobre Alemania! ¿Cuál será su destino?"

Las trágicas consecuencias de la guerra trajeron cambios profundos en la vida universitaria e hicieron a Röntgen tal vez menos difícil la realización de su proyecto concebido hacía mucho y siempre postergado, de renunciar a sus cargos docentes. ¡Qué distinto a otros grandes investigadores! La gran mayoría se apresura a aprovechar la primera ocasión para sacudir la carga pesada de la enseñanza, mientras que Röntgen, con sus 74 años, reflexionaba todavía sobre si no le faltarían en el porvenir sus clases y estudiantes. Tras largas vacilaciones decidió, el 11 de octubre de 1919, comunicar a las autoridades universitarias su deseo de abandonar su querida cátedra. Pocos meses antes se había cumplido el medio siglo de la iniciación de su carrera académica, cincuenta años desde el día aquel en que recibiera su diploma de doctor. La memorable fecha que no pasó inadvertida despertaba melancólicos recuerdos en el espíritu del viejo sabio. La Academia de Ciencias de Berlín le envió un oficio, notable en su forma, rico en su contenido. En pocas palabras bosqueja los méritos de Röntgen y resume la esencia de su impercedera obra:

"En vuestros años juveniles un hado propicio os condujo al laboratorio del profesor Kundt y os permitió completar vuestra educación bajo la dirección de tan gran maestro del arte experimental. Vuestra primera investigación sobre los calores específicos de los gases, dió el primer ejemplo de vuestras condiciones excepcionales de agudeza, de crítica y exactitud. Apenas cumplida esta obra, todavía bajo la influencia de vuestro maestro, pisasteis pronto otros campos de investigación que le permitieron a vuestra personalidad científica surgir claramente. Vuestro don para encontrar nuevos caminos fué demostrado con el sencillo e ingenioso método para determinar la conductibilidad calórica en los cristales. Vuestro asombroso talento para las construcciones se reveló particularmente en los

estudios sobre la rotación electromagnética del plano de polarización en gases. En esta clásica obra lograsteis observar y medir en varios gases el efecto que en vano buscara el gran Faraday.

La misma habilidad demostrasteis orillando dificultades experimentales en las numerosas investigaciones destinadas a elucidar la influencia de la presión sobre la compresibilidad, capilaridad, viscosidad, y refracción de la luz en los cuerpos más variados. Como testimonio del valor de esta obra basta mencionar vuestra fértil teoría sobre la constitución del agua en estado líquido y sólido. Al emplear nuevos y originales métodos condujisteis a una solución final y decisiva la antigua discusión entre Juan Tyndall y Gustavo Magnus, sobre la absorción de los rayos caloríficos por el vapor. Atacasteis un problema fundamental en vuestras investigaciones sobre el efecto electrodinámico de los dieléctricos animados dentro de un campo eléctrico. Vuestro éxito al observar con certeza el efecto extremadamente pequeño que predijera la teoría de Maxwell es un índice más de vuestro consumado arte experimental. Todos estos estudios, que también abarcan vuestras amplias y sistemáticas búsquedas sobre la piro y piezoelectricidad de los cristales, bastarían para aseguraros un lugar privilegiado entre los más prominentes físicos de Alemania.

Pero, como las estrellas ante el Sol que nace, vuestros méritos palidecen frente a vuestro magnífico descubrimiento de 1895. Probablemente jamás una nueva verdad salida del tranquilo laboratorio de un investigador realizó una marcha triunfal tan rápida y tan universal como el descubrimiento de vuestros rayos, que marcan una época. Las esperanzas fundadas en el valor teórico y práctico del descubrimiento, aunque extraordinarias, fueron pronto sobrepasadas.

La historia de la ciencia nos enseña que en cada descubrimiento existe una singular alianza entre el mérito y el azar; muchos legos podrían estar inclinados a dar una parte preponderante a la casualidad en este caso particular. Pero todos los que han conocido la singularidad de vuestra personalidad cien-

tífica comprenden que el gran descubrimiento sólo pudo pertenecer a vos, el investigador libre de todo prejuicio, a vos que combinasteis la perfección del arte experimental con la mayor escrupulosidad y la máxima conciencia. Las tres memorias en la que describisteis las maravillosas propiedades de los nuevos rayos están en el acervo de las obras clásicas de las ciencias por su modesta forma, su brevedad esencial y su magistral presentación. El valor cognoscitivo de vuestro descubrimiento trazó nuevos senderos a nuestra ciencia, senderos que conducen día a día hacia resultados cada vez más sorprendentes y alcanzan metas cada vez más altas.

El primordial valor práctico de los nuevos rayos, que de golpe reconocisteis y que dejasteis con noble desinterés desarrollar a otros, se reveló de un modo espectacular durante la guerra mundial. Con plena autoridad podemos decir que los frutos de vuestras investigaciones científicas salvaron la vida a millares y millares de soldados heridos, de los nuestros y de los del enemigo. Por eso habeis logrado que se os estime tanto como el inmortal maestro de la ciencia, como el benefactor de la humanidad entera".

2. - Últimos años

El mensaje de la Academia, con sus patéticas y solemnes frases, causó a Röntgen la impresión del canto del cisne: en las elocuentes y lapidarias palabras se vió entregado a la historia, como si su obra estuviera ya definitivamente concluída. Sin embargo, no era esta la opinión del viejo investigador. Al dejar su cátedra no pensó en abandonar su actividad científica. En el Instituto se reservó el derecho de continuar sus experimentos; y siguió yendo, como lo hiciera durante tantas décadas, casi todos los días a la Universidad.

Un extenso estudio experimental, iniciado años antes con su prominente discípulo el ruso Joffe, era el motivo de sus preocupaciones. Como se refería a su problema favorito —las

propiedades eléctricas de los cristales irradiados—, el viejo maestro se dedicaba con paciente amor a la tarea de completar y reunir el vasto material acumulado desde hacía casi un decenio. Su trabajo progresaba, cuando un acontecimiento doloroso lo interrumpió en forma dramática: su esposa falleció el 30 de octubre de 1919, a los 80 años de edad, después de una larga enfermedad.

La pérdida de su compañera abrió en el corazón del anciano una herida que ya no habría de cicatrizarse más. En los tres años que siguieron, apenas dejó pasar un mes sin visitar el cementerio y adornar con flores la tumba de la querida muerta; todos los meses emprendió el largo y penoso viaje a Giessen, donde en el sepulcro familiar reposaba su esposa. "Mi vida, escribió el inconsolable sabio, semeja a un movimiento pendular; consiste en oscilaciones de largo período entre Munich y Giessen." En su casa de Munich no permitió ningún cambio; todo debió quedar tal como estaba en vida de su mujer. Cada 22 de abril celebraba con emocionante fidelidad el cumpleaños de su compañera, como lo hiciera durante los cuarenta y siete años de su felicidad matrimonial. En sus recuerdos ella seguía viviendo, y siempre que recibía cartas de sus amigos evocándole los serenos momentos del pasado, las compartió con su esposa de siempre, leyéndolas en voz alta frente a su fotografía¹.

Röntgen había prometido a su mujer terminar los estudios sobre la conductibilidad eléctrica de los cristales. La redacción de la extensa memoria le fué muy penosa y el manuscrito hubiera quedado inconcluso si no hubiera mediado la palabra empeñada con la moribunda: "La fotografía de mi esposa —escribió— me ayuda a vencer el desgano con que ade-

¹ El 13 de enero de 1920 escribió a la señora de Boveri: "Acabo de recibir una carta del Conde Moltke; fué uno de los invitados a la memorable reunión del Palacio Imperial, donde realicé mi demostración de los rayos X al Emperador. Estas líneas avivaron muchas reminiscencias de tiempos pasados. Las leí a mi mujer, es decir, a su fotografía". (Margarita Boveri, loc. cit., pág. 176).

lanto mi manuscrito; me recuerda mi deber y mi promesa. Solamente gracias a ella logro dominar mi inercia"¹. Por fin, cuando en el otoño de 1920 envió el trabajo al director de los *Anales*, se sintió aliviado, liberado de una pesada carga. Siempre, aun en la cumbre de su carrera, la redacción de sus trabajos le resultó una tarea pesada. Una vez obtenidos los resultados experimentales perdían para él todo su encanto, y su publicación le resultaba indiferente. Sólo las búsquedas, como fué el caso de casi todos los grandes investigadores, cautivaron su interés. Aunque considerara su obra concluida y no pensaba publicar nada, continuó experimentando para distraerse.

Su sucesor, Guillermo Wien, y el profundo teórico Arturo Sommerfeld venían a menudo a su laboratorio para visitar al viejo maestro, que solía discutir con ellos las nuevas ideas, los problemas de los cuantos y de la relatividad. Con ardor sorprendente para su edad, Röntgen buscó argumentos contra la teoría de Einstein. Las admirables pruebas de la teoría —la explicación dada al movimiento perihélico de Mercurio, el corrimiento de las líneas espectrales hacia el rojo, la desviación del rayo luminoso en fuertes campos gravitatorios— todo esto no bastaba para disipar el escepticismo del viejo sabio. Consideraba que esos hechos podrían encontrar su interpretación sin el cambio radical aportado por la relatividad einsteniana a la venerable dinámica de Newton. Al igual que todos los físicos clásicos, convencido de la sencillez fundamental de las leyes de la naturaleza, Röntgen creía que las nuevas doctrinas eran demasiado complicadas para ser verdaderas.

A partir del verano de 1921, los presentimientos de una muerte cercana comenzaron a merodear por su espíritu. En realidad, nada parecía justificar tan siniestros presagios: su organismo robusto desmentía los 76 años que sobre él pesaban; respondía a su pasión de cazador, y su puntería, como otrora, seguía siendo un peligro para los ciervos y gallos monteses. Sin dificultad soportaba marchas de una docena de kilóme-

¹ Carta a la señora de Boveri, 13 de enero de 1920, loc. cit., pág. 187.

tros. La carga de los años apenas había encorvado su alta figura; con su larga y canosa barba y su cara enjuta, parecía un profeta bíblico. A pesar de todo consideró que había llegado la hora de redactar su testamento.

La guerra y la inflación habían diezmado su otrora considerable fortuna. No poseía más que la casita de Weilheim y algunos fondos en un banco holandés. Por última voluntad repartió estos bienes entre sus parientes, los pobres de Lennep, su ciudad natal y la Universidad de Würzburg, a la cual también legó todos sus diplomas, medallas y plaquetas. Redactó su testamento con exactitud científica: no omitió nada, ni a nadie. Sus amigos, y aun los descendientes de sus amigos fallecidos, todos fueron recordados en su última voluntad con un regalo. En un armario había reunido centenares de notas y cartas relativas al gran descubrimiento, y además manuscritos inéditos: dispuso que, sin ser leídos, fueran quemados.

Desde la muerte de su mujer, el sentimiento de la soledad no cesó de atormentarle. Sus mejores amigos, el zoólogo Boveri, el médico Krönlein, el filólogo Hitzig, hacía años que habían fallecido. Los pocos que aún le quedaban vivían lejos de Munich, algunos en Suiza. Anhelaba verlos y contemplar las montañas que antaño le brindaran tantas alegrías. En agosto de 1922 partió para Zurich. Acompañado por el profesor Wöflin, de Basilea, que fuera su discípulo, escaló el Lenzerheide. "Por última vez —le dijo a su amigo, al llegar a la meta— quise contemplar esta inolvidable majestad."

Röntgen presentía que ya no le sería dado volver a contemplar otra vez a sus queridos Alpes. Esta vez, tampoco se equivocó. Poco después de su regreso a Munich, una enfermedad hasta entonces latente se le declaró. Él mismo se hizo el diagnóstico —carcinoma intestinal—, y los médicos no pudieron hacer otra cosa que confirmarlo. A fines de enero de 1923, su estado se agravó y ya le fué imposible abandonar el lecho. Su fiel ama de llaves, Catalina Fuchs, que sirviera a la familia durante un cuarto de siglo, lo cuidaba. Durante la noche del 10 de febrero, el enfermo se mostró inquieto y quiso levantarse.

Catalina le sentó en un sillón, donde al amanecer, el sueño eterno, apaciblemente, veló sus párpados.

Fueron pocos los elegidos a quienes ha sido otorgada una dicha semejante a la suya: el destino, a diferencia de cuanto concedió a otros hombres igualmente geniales, le permitió en vida contemplar los múltiples beneficios surgidos de aquel milagroso poder de la nueva luz con que, en forma tan admirable, dotara a la humanidad.

LAS TRES MEMORIAS DE RÖNTGEN SOBRE LOS RAYOS X

1. — *Sobre una nueva clase de rayos*

(PRIMERA COMUNICACIÓN)

(De las sesiones de la Sociedad físico-médica de Würzburg, año 1895)

1) Si se hace pasar la descarga de una bobina de inducción, bastante grande, a través de un tubo de vacío de Hittorf, por un tubo de Lenard o de Crookes, o por otros aparatos similares que se hayan evacuado suficientemente, estando el tubo recubierto con una cartulina negra que le facilite un hermetismo conveniente; y si todo el aparato se coloca en una habitación completamente oscura, se produce, a cada descarga, una brillante iluminación sobre una pantalla de papel recubierto con platino-cianuro de bario, colocada en la vecindad de la bobina de inducción; siendo la fluorescencia así producida completamente independiente del hecho de que sea la superficie recubierta o la otra la que esté dirigida hacia el tubo de descarga. Esta fluorescencia es visible aun cuando la pantalla de papel se halle a una distancia de dos metros del aparato.

Resulta fácil demostrar que la causa de la fluorescencia procede del aparato de descarga y no de otro punto del circuito conductor.

2) La característica más notable de este fenómeno es el hecho de que un agente activo pasa, aquí, a través de una envoltura de cartulina negra que es opaca a los rayos visibles y ultravioletas del sol o del arco eléctrico; un agente que posee, además, la propiedad de producir una viva fluorescencia. Debemos,

pues, investigar primero si otros cuerpos tienen también esta propiedad.

Pronto descubrimos que todos los cuerpos son permeables para este agente, aunque en grados muy diferentes. Daremos algunos ejemplos: El papel lo es en alto grado; detrás de un libro encuadernado de unas mil páginas, he notado cómo se iluminaba la pantalla fluorescente con brillo, ofreciendo la tinta de imprenta un obstáculo apenas digno de mención. De la misma manera, la fluorescencia apareció detrás de un doble mazo de naipes; una sola carta sostenida entre el aparato y la pantalla era casi imperceptible. Una hoja de papel de estaño también se ve apenas; sólo cuando se han colocado varias capas, una sobre otra, puede distinguirse nitidamente su sombra en la pantalla. Gruesos bloques de madera son igualmente permeables, mientras que las tablas de pino, de dos o tres centímetros de espesor, absorben sólo levemente. Una placa de aluminio, de unos 15 mm. de espesor, aunque debilita muchísimo la acción, no hace desaparecer la fluorescencia por completo. Las placas de ebonita de varios centímetros de grosor permiten todavía que los rayos las atraviesen. Placas de vidrio de igual espesor se comportan de modo muy distinto, según que contengan plomo (cristal) o no; el primero es mucho menos penetrable que el segundo. Si se interpone la mano entre el tubo de descarga y la pantalla, se ve la sombra más oscura de los huesos dentro de la mano, menos pronunciada. El agua, el disulfuro de carbono y varios otros líquidos, examinados en recipientes de mica, parecen ser también permeables. No he podido descubrir, sin embargo, que el hidrógeno lo sea, en grado considerable, más que el aire. Detrás de placas de cobre, plata, plomo, oro y platino, se puede reconocer todavía la fluorescencia, pero únicamente si el espesor de las placas no es demasiado grande. El platino, de un espesor de 0,2 mm., todavía es permeable. Las placas de plata y cobre pueden ser todavía más gruesas. El plomo, de 1,5 mm. de espesor, es prácticamente opaco; y, a causa de esta propiedad, dicho metal resulta frecuentemente muy útil. Una varilla de madera, de sección transversal cuadrada

(20 × 20 mm), uno de cuyos lados esté pintado de blanco con pintura de plomo, se comporta de modo distinto, según como se la sostenga entre el aparato y la pantalla. Carece casi de acción cuando los rayos X que la atraviesan son paralelos al lado pintado, mientras que la varilla arroja una sombra oscura cuando dichos rayos pasan perpendicularmente a aquél. Igual que los metales, las sales de éstos, en estado sólido o de solución, se pueden ordenar en una serie análoga, en lo que se refiere a su penetrabilidad.

3) Los resultados experimentales mencionados, junto con otros, conducen a la conclusión de que la permeabilidad de las diferentes sustancias —supuestas de igual espesor— está esencialmente condicionada por su densidad: por lo menos, ninguna otra propiedad se hace notar en tan alto grado como ésta.

Pero que, a pesar de todo, no es sólo la densidad lo decisivo, lo prueban los siguientes experimentos. Investigué la penetrabilidad de distintas placas, de espesor casi igual, de vidrio, aluminio, calcita y cuarzo; la densidad de dichas sustancias era, aproximadamente, la misma, a pesar de lo cual, resultó evidente que la transparencia de la calcita es considerablemente menor que la de los demás cuerpos, que se comportan en forma bastante análoga. No he podido notar una fluorescencia especialmente fuerte en la calcita (ver más abajo pág. 167), sobre todo en comparación con el vidrio.

4) A medida que aumenta el espesor, todos los cuerpos se tornan menos transparentes. Para poder encontrar, quizá, una relación entre transparencia y espesor, he ido tomando fotografías (ver más abajo, pág. 165) en las cuales la placa fotográfica estaba parcialmente recubierta con láminas de estaño, cuyo número aumentaba escalonadamente; se hará una medida fotométrica cuando tenga a mi disposición un fotómetro adecuado.

5) Laminando platino, plomo, cinc y aluminio, se hicieron

chapas de espesor tal, que todas tenían aproximadamente igual transparencia. La tabla siguiente contiene los espesores medidos en milímetros, el espesor relativo con respecto al platino, y la densidad.

	ESPOSOR	ESPOSOR RELATIVO	DENSIDAD
Pt	0,018 mm.	1	21,5
Pb	0,05 "	3	11,3
Zn	0,10 "	6	7,1
Al	3,5 "	200	2,6

De estos valores se deduce que de ninguna manera hay igualdad de transparencia para los distintos metales, cuando el producto del espesor por la densidad es constante. La transparencia aumenta mucho más rápidamente que lo que dicho producto disminuye.

6) La fluorescencia del platino-cianuro de bario no es la única acción reconocible de los rayos X. Ante todo, hay que mencionar que también poseen dicha propiedad otros cuerpos; así, p.ej., las combinaciones de calcio llamadas "fósforos", el vidrio de uranio, el vidrio común, la calcita y la sal gema.

Es de importancia especial, en muchos sentidos, el hecho de que las placas fotográficas secas sean sensibles a los rayos X. Estamos, gracias a esto, en condiciones de determinar con más precisión muchos fenómenos, y evitar más fácilmente confusiones de toda índole; por esta razón, en los casos en que fué posible, he controlado por medio de la fotografía cada observación importante hecha a simple vista mediante la pantalla fluorescente.

En estos experimentos, la propiedad de los rayos de pasar casi sin dificultad a través de capas de madera, papel y láminas de estaño es de suma utilidad. Las impresiones fotográficas pueden obtenerse en una habitación iluminada con las placas fotográficas encerradas en el portaplacas o envueltas en papel. Por otra parte, de esta propiedad resulta, en consecuencia, que las placas no reveladas no pueden dejarse por mucho tiempo

cerca del tubo de descarga, si están únicamente protegidas por esa envoltura usual de cartón y papel.

Además, es problemático que la acción química producida sobre las sales de plata de las placas fotográficas sea el efecto directo de los rayos X. Es posible que tal acción se deba a la luz fluorescente que, como se había observado más arriba, se produce en la placa de vidrio o, quizá, en la capa de gelatina. Por lo demás, las "películas" pueden usarse con la misma ventaja que las placas fotográficas de vidrio.

Aún no he podido comprobar, experimentalmente, que los rayos X sean capaces de producir una acción calorífica; sin embargo, bien podemos admitir que este efecto exista, ya que, por los fenómenos de fluorescencia, está demostrada la capacidad de transformarse que poseen los rayos X, y que es seguro que no todos los rayos X que inciden sobre un cuerpo lo abandonan de nuevo como tales.

La retina del ojo humano no es sensible a nuestros rayos. Cuando éste se aproxima al tubo de descarga, no observa nada, aunque, como ha probado la experiencia, los medios contenidos en el ojo deban ser suficientemente permeables como para transmitir los rayos.

7) Después de haber reconocido la transparencia de varias sustancias, en láminas de espesor relativamente considerable, me apresuré a observar cómo se comportaban los rayos X al pasar a través de un prisma, y a investigar si se desviaban o no por el mismo.

Los experimentos con agua y disulfuro de carbono, contenidos en un prisma de mica de un ángulo aproximado refringente de 30° , no demostraron desviación alguna, tanto en la pantalla fluoroscópica como en la placa fotográfica. A título comparativo, se ha observado la desviación sufrida por los rayos de la luz ordinaria, bajo las mismas condiciones, y se ha notado que, en este caso, las imágenes caían desviadas sobre la placa, a unos 10 ó 20 mm. de distancia de la imagen directa. Por medio de prismas hechos de ebonita y de aluminio, también de ángulo

refringente de unos 30° , obtuve imágenes en la placa fotográfica, en la que quizá podía notarse una pequeña desviación. Sin embargo, el hecho es muy incierto; la desviación, si existe, es tan pequeña que, en todo caso, el índice de refracción de los rayos X en las sustancias nombradas no puede ser mayor, a lo sumo, de 1,05. Usando una pantalla fluorescente, tampoco estuve en condiciones de observar desviación alguna.

De todo esto se infiere que los rayos X no pueden concentrarse mediante lentes; pues ni un gran lente de ebonita ni uno de vidrio tienen influencia alguna sobre los mismos. La imagen de sombra de una varilla redonda es más oscura en el medio que en el borde, mientras que la imagen de un tubo lleno de una sustancia más transparente que su propio material se presenta, por el contrario, menos oscura en el medio que en el borde.

8) El problema de la reflexión de los rayos X, de acuerdo con los experimentos del párrafo anterior, puede considerarse solucionado en el sentido de que en ninguna de las sustancias investigadas se produce un rechazo perceptible regular de dichos rayos. Otros experimentos, que no consignaré aquí, conducen al mismo resultado.

En cambio, cabe mencionar una observación que, a primera vista, parece indicar lo contrario. Una placa fotográfica, protegida de la luz por papel negro, fué expuesta a los rayos X con el lado del vidrio dirigido hacia el aparato de descarga; la capa sensible, menos en un lugar que se dejó libre, se recubrió con láminas pulidas de platino, plomo, cinc y aluminio dispuestas en forma de estrella. En el negativo revelado puede reconocerse claramente que el ennegrecimiento producido debajo del platino, del plomo y, especialmente, del cinc, es más intenso que en las otras partes; el aluminio no había ejercido ninguna acción. Parece ser, por tanto, que los tres metales nombrados reflejan los rayos; no obstante, podría pensarse en otras causas para el mayor ennegrecimiento; y, para estar más seguro, en un segundo experimento coloqué, entre la capa sen-

sible y las placas metálicas, un trozo de una delgada hoja de aluminio, que es opaca para los rayos ultravioletas, y en cambio muy transparente para los rayos X. Como también entonces se obtuvo, en esencia, el mismo resultado, queda probada la reflexión de los rayos X en los metales antedichos.

Si se relaciona este hecho con la observación de que el polvo es tan transparente como los cuerpos sólidos, y de que, además, los que tienen superficie rugosa se comportan, al ser atravesados por los rayos X, exactamente igual que los cuerpos pulidos, y en la misma forma también que en el experimento últimamente descrito, se llega a la conclusión de que, si bien, como se dijo, no se produce una reflexión regular, los cuerpos actúan frente a los rayos X en forma análoga a como lo hacen los medios turbios frente a la luz.

Como tampoco pude encontrar ninguna refracción al pasar los rayos X de un medio a otro, parece ser que éstos se propagan en todos los cuerpos con igual velocidad, haciéndolo en un medio omnipresente, en el cual se hallan incluidas las partículas materiales. Éstas ofrecen una resistencia a la propagación de los rayos X que es, por lo general, tanto mayor cuanto más denso es el cuerpo considerado.

9) De acuerdo con esto, sería posible que la distribución de las partículas del cuerpo tuviera, también, influencia sobre la transparencia de éste; que la calcita, por ejemplo, manifestase distinta permeabilidad según que fuera atravesada por los rayos paralela o perpendicularmente al eje. Sin embargo, los experimentos realizados con calcita y cuarzo, dieron resultado negativo.

10) Como es sabido, Lenard llegó, en sus hermosas investigaciones sobre los rayos catódicos de Hittorf —que habían sido dejados pasar a través de una delgada hojuela de aluminio—, al resultado de que dichos rayos eran procesos sobrevenidos en el éter y que actuaban en forma difusa en todos los cuerpos. De nuestros rayos hemos podido afirmar algo parecido.

En su más reciente investigación, Lenard ha determinado el poder de absorción de diferentes sustancias para los rayos catódicos, y, entre otros, ha obtenido, para el aire a presión atmosférica, los valores 4,10; 3,40 y 3,10, referidos a 1 centímetro, según la rarefacción del gas contenido en el aparato de descarga. Juzgando el potencial de descarga, a base de la longitud de las chispas, he tenido que trabajar en la mayor parte de mis experimentos con rarefacciones del mismo orden de magnitud, y sólo raras veces con mayores o menores. He obtenido éxito al comparar mediante el fotómetro de L. Weber —no poseo otro mejor— las intensidades, tomadas en el aire atmosférico, de la fluorescencia de mi pantalla, a dos distancias del aparato de descarga —de 100 y 200 milímetros aproximadamente—, y he descubierto, a base de 3 experimentos que concuerdan bien entre sí, que las intensidades son inversamente proporcionales a los cuadrados de las distancias de la pantalla, contadas a partir del aparato de descarga. De acuerdo con ello, el aire absorbe una fracción de los rayos X mucho más pequeña que de los rayos catódicos. Este resultado concuerda completamente con la observación mencionada arriba, de que todavía es posible descubrir la luz fluorescente a una distancia de 2 metros del aparato de descarga.

Otras sustancias se comportan, en general, como el aire; son más transparentes a los rayos X que a los rayos catódicos.

11) Otra diferencia, más importante aún, entre el comportamiento de los rayos catódicos y el de los rayos X, reside en el hecho de que no pude obtener, a pesar de mis tentativas, una desviación de los últimos por un imán, ni siquiera en campos muy intensos.

La posibilidad de desviación mediante un imán ha servido, hasta el presente, como propiedad característica de los rayos catódicos, aunque se sabe, por las investigaciones de Hertz y Lenard, que hay diferentes clases de rayos catódicos, "que se distinguen uno del otro por su producción de fosforescencia, por su capacidad de absorción, y por su grado de desviación

mediante un imán". Sin embargo, se ha notado, en todos los casos investigados por ellos, una considerable deflexión, de modo que no creo que esta característica deba ser desechada, excepto por razones severas.

12) De acuerdo con los experimentos especialmente proyectados para ensayar la cuestión, es evidente que el punto de la pared del tubo de descarga, que emite la más fuerte fluorescencia, ha de considerarse como el principal centro de irradiación en todas direcciones de los rayos X. Estos rayos provienen del punto donde, de acuerdo con los datos obtenidos por diferentes investigadores, los rayos catódicos chocan contra la pared de vidrio. Si los rayos catódicos, dentro del aparato de descarga, se desvían por medio de un imán, se observa que los rayos X proceden de otro punto, distinto al anterior: del coincidente con el nuevo punto terminal de los rayos catódicos.

Por esta razón, los rayos X, que es imposible desviar, no pueden ser rayos catódicos simplemente transmitidos o reflejados, sin cambio, a través de la pared de vidrio. La mayor densidad del gas exterior al tubo de descarga no puede, ciertamente, explicar la gran diferencia en la deflexión, conforme a Lenard.

Llego, pues, a la conclusión de que los rayos X no son idénticos a los rayos catódicos, pero sí son producidos por éstos en la pared de vidrio del aparato de descarga.

13) Esta producción tiene lugar, no sólo en el vidrio, sino—como he tenido ocasión de observar— en el aluminio de un aparato cerrado por una placa de dicho metal, de 2 milímetros de espesor. Otras substancias serán examinadas más adelante.

14) La justificación para llamar por el nombre de "rayos" al agente que proviene de la pared del aparato de descarga la encuentro, en parte, en la formación enteramente regular de las sombras que se ven cuando se colocan cuerpos más o menos transparentes entre el aparato y la pantalla fluoroscópica (o la placa fotográfica).

He observado, y fotografiado en parte, muchas imágenes de sombra de esta índole, cuya obtención tiene un encanto particular. Poseo, por ejemplo, fotografías de la sombra del perfil de una puerta que separaba las habitaciones en que, por un lado, se colocó el aparato de descarga y, por el otro, la placa fotográfica; la sombra de los huesos de la mano; la sombra de un alambre cubierto arrollado sobre un carrete de madera; la de un grupo de pesas contenidas en una caja; la de un galvanómetro, en el que la aguja magnética se encuentra completamente recubierta por un metal; la de una pieza metálica, cuya falta de homogeneidad se observa fácilmente mediante los rayos X, etc.

Otra prueba concluyente de la propagación rectilínea de los rayos X es la fotografía que, a través de un agujero de una aguja, logré hacer del aparato de descarga, mientras estaba envuelto en papel negro; la imagen es débil, pero inequívocamente correcta.

15) He intentado, de varias maneras, descubrir los fenómenos de interferencia de los rayos X, pero, desgraciadamente, sin éxito; acaso ello se deba sólo a su débil intensidad.

16) Se han iniciado experimentos, que aún no están terminados, para establecer si las fuerzas electrostáticas afectan a los rayos X de algún modo.

17) Al considerar la cuestión de la naturaleza de los rayos X, que, como hemos visto, no pueden ser rayos catódicos, quizá podamos ser inducidos a creer en primer lugar que están constituidos por luz ultravioleta, a causa de su activa fluorescencia y acciones químicas. Pero al hacerlo así, nos enfrentamos con graves reparos. Si los rayos X son luz ultravioleta, dicha luz debería tener las siguientes propiedades:

a) Al pasar desde el aire a través del agua, disulfuro de carbono, aluminio, sal gema, vidrio, cinc, etc., no sufrir refracción digna de mención.

b) No reflejarse regularmente en grado apreciable con ninguno de los cuerpos nombrados.

c) No polarizarse por cualquiera de los métodos ordinarios.

d) No estar influida su absorción por otra propiedad de las substancias tanto como por su densidad.

Vale decir, pues, que debemos admitir que estos pretendidos rayos ultravioletas se comportan de manera completamente distinta que los rayos infrarrojos, visibles, y ultravioletas conocidos hasta ahora.

No he estado en condiciones de llegar a conclusiones tales y, por esto, he buscado otra explicación.

Parece que existe alguna clase de parentesco entre los nuevos rayos y los lumínicos; por lo menos, así hay que suponerlo por la formación de las sombras, la fluorescencia y la acción química producida por ambos. Ahora bien, hace tiempo, hemos llegado a saber que pueden existir en el éter vibraciones longitudinales, aparte de las vibraciones lumínicas transversales; y, de acuerdo con los puntos de vista de diferentes físicos, estas vibraciones no pueden por menos de existir. Su existencia, a decir verdad, no ha sido demostrada hasta el presente y, en consecuencia, sus propiedades no han sido investigadas experimentalmente.

¿No deberán los nuevos rayos su origen, acaso, a las vibraciones longitudinales del éter?

He de confesar que, en el curso de la investigación, me he ido convenciendo cada vez más de esta idea; de tal manera, que me permito enunciar esta hipótesis, aunque me doy perfecta cuenta de que la explicación dada necesita una corroboración adicional.

2. - Sobre una nueva clase de rayos

(SEGUNDA COMUNICACIÓN)

(De las sesiones de la Sociedad físico-médica de Würzburg, año 1895)

En vista de que mi trabajo debe ser interrumpido por varias semanas, me permito comunicar ya, en lo que sigue, algunos resultados.

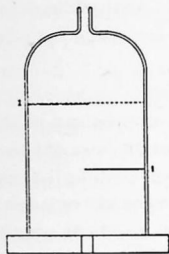
18) En la época de mi primera publicación, ya sabía yo que los rayos X eran capaces de descargar cuerpos electrizados, y sospecho ahora que fueron también los rayos los que produjeron las acciones, sobre cuerpos electrizados distantes, descritas por Lenard, y no los rayos catódicos que la ventana de aluminio de su aparato dejaba pasar inalterados. Pero, para la publicación de mis experiencias, he esperado hasta estar en condiciones de comunicar resultados inobjctables.

Estos sólo pueden obtenerse con seguridad si se efectúan las experiencias en un recinto que se halle, no sólo completamente aislado de las fuerzas electrostáticas que emanan del tubo de vacío, de los conductores, del aparato de inducción, etc., sino, también, cerrado al aire procedente de las cercanías del aparato de descarga.

Con dicho objeto, hice construir, de láminas de cinc soldadas entre sí, una caja con espacio suficiente para contenerme a mí y a los aparatos necesarios y que, salvo una abertura que podía cerrarse mediante una puerta del citado metal, no permitía la entrada de aire por ninguna parte. La pared que daba frente a la puerta hallábase en gran parte recubierta de plomo; en un lugar próximo al aparato de descarga, por fuera de la caja, se cortó la pared de cinc recubierta con la lámina de plomo en una extensión de 4 cm, y la abertura se cerró herméticamente con una chapa de aluminio. A través de esta ventana, los rayos X podían penetrar en la caja de observación.

Pude comprobar lo siguiente:

a) Los cuerpos cargados con electricidad positiva o negativa en el aire, son descargados cuando se les somete a la acción de los rayos X, tanto más rápidamente cuanto más intensos sean éstos. La intensidad de los rayos fué juzgada de acuerdo con su acción sobre una pantalla fluorescente o una placa fotográfica.



En general, es indiferente que los cuerpos electrizados sean conductores o aisladores. Tampoco he encontrado hasta ahora ninguna diferencia específica en el comportamiento de los diferentes cuerpos con respecto a la velocidad de la descarga, ni tampoco en el comportamiento de ambas clases de electricidad. No es imposible, sin embargo, que existan pequeñas diferencias.

b) Si un conductor electrizado está rodeado, no por el aire, sino por un aislador sólido —por ej., parafina—, la irradiación tiene el mismo efecto que el “pincelado” de la cápsula aisladora con una llama conectada a tierra.

c) Si esta cápsula aisladora se halla rodeada estrechamente por un conductor conectado a tierra —que habrá de ser, como el aislador, transparente a los rayos X—, la irradiación no ejerce, sobre el conductor electrizado central, ninguna acción revelable con los instrumentos que poseo.

d) Las observaciones consignadas en a), b) y c) indican que el aire irradiado con rayos X ha adquirido la propiedad de descargar los cuerpos electrizados con los que se le pone en contacto.

e) Si las cosas suceden realmente así, y si, además, el aire conserva esta propiedad durante algún tiempo después de sustraerse a la acción de los rayos X, entonces debe ser posible descargar aquellos cuerpos electrizados que no lo son directamente por los rayos X, haciéndoles llegar aire irradiado.

De varias maneras podemos convencernos de que esta consecuencia se produce realmente. De una de las instalaciones, aunque no la más sencilla, deseo dejar constancia aquí.

Utilicé un tubo de latón de 3 cm de ancho y 45 cm de largo; a algunos centímetros de distancia de uno de los extremos, se quitó una parte de la pared del tubo para reemplazarla por una delgada chapa de aluminio; en el otro extremo se introdujo dentro del tubo, con ajuste hermético, una esfera de latón fija a una varilla metálica aislada. Entre la esfera y el extremo cerrado del tubo se soldó un tubito lateral que podía ser conectado con un aparato de aspiración; cuando se aspiraba, la esfera de latón era bañada por aire que, a través del tubo, había pasado antes por frente a la ventana de aluminio. La distancia entre la esfera y la ventana era de unos 20 cm.

Coloqué este tubo en la caja de cinc de tal forma que los rayos X podían entrar en él, a través de la ventana de aluminio, perpendicularmente al eje; de este modo, la esfera aislada yacía fuera de la acción de dichos rayos, en la sombra. El tubo y la caja de latón estaban unidos por un conductor y la esfera conectada con un electroscopio de Hankel.

Se observó, entonces, que una carga eléctrica (positiva o negativa) comunicada a la esfera no era influenciada por los rayos X en tanto que el aire del tubo quedaba en reposo, pero que la carga disminuía de inmediato en forma apreciable cuando, al ejercer una fuerte succión, el aire irradiado era puesto en contacto con la esfera. Si se comunicaba a ésta, por medio de acumuladores, un potencial constante y se aspiraba continuamente el aire irradiado, se producía una corriente eléctrica, como si la esfera hubiese estado conectada con el tubo por medio de un mal conductor.

f) Nos preguntamos ahora: ¿En qué forma puede perder el aire la propiedad que le han conferido los rayos X? Aún no está dilucidada la cuestión de si la puede perder por sí mismo con el tiempo, es decir, sin ponerse en contacto con otros cuerpos. Por el contrario, es seguro que un contacto de poca duración con un cuerpo de gran superficie, que no necesita estar electrizado, puede volver inactivo al aire. Por ejemplo, si se introduce un tapón de algodón de grosor suficiente, en el tubo, de tal modo que el aire irradiado tenga que atravesar dicho algodón antes de llegar a la esfera electrizada, la carga de ésta permanece inalterada incluso durante la aspiración.

Si el tapón se coloca antes de la ventana de aluminio, se obtiene el mismo resultado que si no se hace tal cosa, lo que viene a comprobar que la causa de la descarga observada no radica en partículas de polvo o en algo parecido.

Las rejillas metálicas se comportan en forma semejante al algodón; pero la red debe ser de mallas muy finas, y han de superponerse muchas capas de ellas si el aire irradiado que las atraviesa ha de ser inactivo. Si tales rejillas no están conectadas a tierra, como se ha supuesto hasta ahora, sino conectadas a una fuente eléctrica de potencial constante, siempre he observado lo que esperaba; pero estos ensayos no se encuentran todavía concluidos.

g) Si los cuerpos electrizados se hallan en un medio constituido por hidrógeno seco en lugar de aire, también son descargados por los rayos X. La descarga en hidrógeno me pareció más lenta, pero este dato es aún inseguro, debido a la dificultad de obtener en sucesivos ensayos igual intensidad de los rayos X.

La manera de llenar los aparatos con hidrógeno permitiría excluir la posibilidad de que la capa de aire condensado, existente al principio sobre la superficie de los cuerpos, hubiera jugado un papel esencial durante la descarga.

h) En recintos altamente evacuados, la descarga de un cuerpo directamente alcanzado por los rayos X se produce mucho más lentamente —en un caso, por ejemplo, cerca de 70 veces

más despacio— que en los mismos recipientes cuando están llenos con aire o hidrógeno a la presión atmosférica.

i) Se han iniciado experiencias para ver el comportamiento de una mezcla de cloro e hidrógeno bajo la acción de los rayos X.

j) Finalmente, deseo todavía advertir que los resultados de las investigaciones sobre la acción de descarga de los rayos X en los cuales no se ha tenido en cuenta la influencia del gas circundante, deben ser aceptados con mucha reserva.

19) En algunos casos, es conveniente intercalar un aparato de Tesla (condensador y transformador) entre el aparato de descarga que genera los rayos X y la bobina de Ruhmkorff; este dispositivo tiene las siguientes ventajas: en primer lugar, los aparatos de descarga se perforan y se calientan menos; en segundo, el vacío se mantiene durante más tiempo —por lo menos en los aparatos contruidos por mí— y, en tercer lugar, algunos aparatos producen rayos X más intensos. En aparatos en que se había efectuado un vacío tan escaso o tan alto que con la bobina de Ruhmkorff, sola, no funcionaban bien, la aplicación del transformador de Tesla prestó excelentes servicios.

No es posible dejar de preguntarse —y por ello me permito formular la pregunta, sin que pueda aportar por el momento algo que permita contestarla— si también pueden ser generados rayos X por medio de una descarga continua bajo un potencial de descarga que se mantiene constante; o sí, por el contrario, no son absolutamente necesarias las oscilaciones de este potencial para la producción de los mismos.

20) En el § 13 de mi primera publicación se ha comunicado que los rayos X no sólo pueden producirse en el vidrio sino también en el aluminio. Continuando la investigación en este sentido, no se ha encontrado ningún cuerpo sólido que no fuera capaz de generar rayos X bajo la acción de los rayos catódicos. Tampoco he encontrado ningún motivo por el cual los cuerpos

líquidos y gaseosos no se hayan de comportar de la misma manera.

Por el contrario, se han revelado diferencias cuantitativas en el comportamiento de los diferentes cuerpos. Por ejemplo, si se hacen caer los rayos catódicos sobre una placa, una de cuyas mitades esté constituida por una lámina de platino de 0,3 mm de espesor y la otra mitad por una plancha de aluminio de 1 mm de grueso, se observa, en la imagen obtenida de ella con una cámara oscura, que la lámina de platino emite por su cara anterior (la que recibe los rayos catódicos) muchos más rayos X que la lámina de aluminio del mismo lado. Por el contrario, del lado posterior del platino no sale prácticamente ningún rayo X, mientras que del aluminio salen relativamente muchos. Estos últimos rayos se generan en las capas anteriores del aluminio y luego atraviesan la placa.

No es difícil procurarse una explicación de dicho fenómeno, pero es aconsejable averiguar antes otras propiedades de los rayos X.

Diremos, sin embargo, que al hecho observado le corresponde también una significación práctica. Para producir rayos X lo más intensos posible, el metal que mejor se presta, según mis conocimientos actuales, es el platino. Desde hace algunas semanas vengo utilizando con buen éxito un aparato de descarga cuyo cátodo es un espejo cóncavo de aluminio y el ánodo una lámina de platino situada en el centro de curvatura del espejo, formando un ángulo de 45° con el eje del mismo.

21) En este aparato, los rayos X parten del ánodo. De mis ensayos con aparatos de diversas formas, debo concluir que, en lo que respecta a la intensidad de los rayos X, es indiferente que el lugar donde estos rayos se produzcan sea o no el ánodo.

Para los experimentos con las corrientes alternadas del transformador de Tesla, se está construyendo especialmente un aparato de descarga, en el cual ambos electrodos son espejos cóncavos de aluminio, cuyos ejes forman ángulo recto; en el centro de curvatura común se ha colocado una placa de platino que

recoge los rayos catódicos. Sobre la utilidad de este aparato informaremos más adelante.

3. - Observaciones ulteriores sobre las propiedades de los rayos X

(TERCERA COMUNICACIÓN)

(De las sesiones de la Real Academia prusiana de Ciencias, de Berlín, año 1897)

1) Si se coloca entre una pantalla fluorescente y un aparato de descarga que emite rayos X intensos ¹, una placa opaca, de tal manera que dé sombra a toda la pantalla, es posible notar todavía una luminosidad del platino-cianuro de bario. Esta luminosidad se observa también aun en el caso de que la pantalla esté directamente sobre la placa y, a primera vista, uno se siente inclinado a creer que la citada placa es transparente. Pero si se recubre la pantalla que está sobre la placa con una gruesa lámina de vidrio, la luz fluorescente se torna mucho más débil, y desaparece completamente si en lugar de tomar una placa de vidrio, se rodea la pantalla con un cilindro de chapa de plomo de 0,1 cm de espesor, que en uno de sus extremos está cerrado por la plancha opaca y en el otro por la cabeza del observador.

El fenómeno descrito podría haberse originado por difracción de rayos de longitud de onda muy grande, o bien su causa en la emisión de rayos X por los cuerpos irradiados que rodean el aparato de descarga, lo que equivale a decir por el aire irradiado.

La última explicación es la correcta, como puede comprobarse, entre otras maneras, con el siguiente aparato. La figura 9 (de la pág. 174) representa una campana de vidrio de paredes

¹ Todos los tubos de descarga mencionados en esta comunicación están contruidos según el principio consignado en el párrafo 20 de mi segunda comunicación.

muy gruesas, de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro, que está cerrada por una gruesa placa de cinc pegada con cemento. En 1 y 2 se han colocado chapas de plomo con forma de segmento circular, algo mayores que la mitad de la sección de la campana, las cuales impiden que los rayos X, que penetran en ella por una abertura efectuada en la placa de cinc y cerrada nuevamente con una película de celuloide, puedan llegar directamente al espacio situado por encima de la chapa de plomo 2. Sobre la cara superior de esta chapa de plomo, está fija una pantallita de platino-cianuro de bario, que ocupa casi por completo la sección de la campana. Dicha pantallita no puede ser alcanzada ni por los rayos directos ni por aquellos que han sufrido una sola reflexión difusa en un cuerpo sólido (por ejemplo la pared de vidrio). La campana se llena antes de cada experimento con aire privado de polvo. Si en primer lugar se dejan penetrar rayos X en la campana, de manera que todos sean interceptados por la pantalla de plomo 1, no se ve todavía ninguna fluorescencia en 2; sólo cuando por inclinación de la campana llegan también rayos directos al espacio comprendido entre 1 y 2 se ilumina la pantalla fluorescente en la mitad que no está cubierta por la chapa de plomo 2. Ahora, si ponemos la campana en conexión con una trompa de agua, observamos que la fluorescencia se hace tanto más débil cuanto mayor es el enrarecimiento; si luego se deja entrar aire, la intensidad aumenta de nuevo. Ahora bien, ya que, como lo he observado, el simple contacto con aire irradiado poco antes no genera ninguna fluorescencia perceptible del platino-cianuro de bario, debemos concluir del experimento descrito que el aire, mientras es irradiado, emite rayos X en todas direcciones.

Si nuestro ojo fuera tan sensible para los rayos X como para los rayos luminosos, un aparato de descarga en funcionamiento se nos aparecería en forma semejante a una luz encendida en una pieza uniformemente llena de humo de tabaco, probablemente el color de los rayos directos fuera diferente del de los rayos que vienen de las partículas de aire.

No he podido resolver aún el problema de si los rayos que salen de los cuerpos irradiados son o no de la misma naturaleza que los incidentes o, en otras palabras, si el origen de estos rayos es una reflexión difusa o un proceso análogo a la fluorescencia. Que también los rayos que vienen del aire tienen acción fotográfica se puede probar fácilmente; tanto, que ésta acción, en algunos casos, se hace patente al observador en forma indeseable. Para protegerse de ella, lo que a menudo es necesario en largas exposiciones, hay que encerrar las placas fotográficas en cajas apropiadas de plomo.

2) Para comparar la intensidad de los rayos en dos tubos de descargar y para diversos otros experimentos utilicé un dispositivo copiado del fotómetro de Bouguer, al que también llamaré fotómetro, para abreviar.

Un trozo rectangular de placa de plomo de 35 cm de altura, 150 cm de largo y 0,15 cm de espesor, está colocado verticalmente en el centro de una larga mesa y sostenido por medio de tablas. A cada uno de los lados de esta placa se halla un tubo de descarga, desplazable sobre la mesa. En uno de los extremos de la placa de plomo se ha colocado una pantalla fluorescente¹ de tal modo que cada mitad de ella sólo es iluminada perpendicularmente por uno de los tubos. Para realizar las medidas, se regula hasta que la fluorescencia de ambas mitades tenga la misma intensidad.

Consignaremos aquí algunas observaciones sobre el empleo de este instrumento. Por de pronto mencionaremos que las determinaciones son con frecuencia muy dificultadas por la inconstancia de la fuente de los rayos; el tubo reacciona frente a cualquier irregularidad en la interrupción de la corriente

¹ En este y en otros experimentos, la pantalla fluorescente de Edison se ha revelado de gran utilidad. Consiste en una caja, semejante a un estereoscopio, que se puede colocar en la cabeza del observador de manera que no entre luz, y cuyo fondo de cartón está recubierto con platino-cianuro de bario. Edison usa scheelita en lugar de platino-cianuro de bario, pero prefiero esta última sustancia por determinadas razones.

primaria; éstas se producen con el interruptor de Deprez, pero también con el de Foucault. Se recomienda para ello repetir varias veces la equilibración. En segundo lugar, deseo consignar de qué depende la luminosidad de una determinada pantalla fluorescente, que es alcanzada por una sucesión tan rápida de rayos X, que el ojo del observador no puede percibir más la intermitencia de la irradiación. Esta luminosidad depende: 1.—de la intensidad de la radiación emitida por la placa de platino del tubo de descarga; 2.—muy probablemente, de la clase de los rayos que alcanzan la pantalla, puesto que no todos ellos (ver más abajo) tienen acción fluorescente en la misma medida; 3.—de la distancia de la pantalla al punto de partida de los rayos; 4.—de la absorción que sufren los rayos en su trayecto hasta el platino-cianuro de bario; 5.—del número de descargas por segundo; 6.—de la duración de cada una de las descargas individuales; 7.—de la duración e intensidad de la post-luminosidad del platino-cianuro de bario y 8.—de la irradiación sobre la pantalla producida por los cuerpos que rodean al tubo de descarga. Para evitar errores, habrá que tener siempre presente que rigen aquí condiciones análogas a las que existirían de tener que comparar —aprovechando su acción de fluorescencia— dos fuentes luminosas intermitentes de color distinto, rodeadas por una envoltura absorbente y situadas en un medio turbio o fluorescente.

3) Según el § 12 de mi primera comunicación, el lugar del aparato de descarga alcanzado por los rayos catódicos es el punto de partida de los rayos X, y éstos se propagan "en todas direcciones". Es, entonces, de interés averiguar cómo se varía la intensidad de los rayos con la dirección.

Para esta investigación, los que mejor se prestan son los aparatos de descarga de forma esférica con placa de platino de pulido bien plano, sobre la cual los rayos catódicos inciden bajo un ángulo de 45°. Ya sin ningún aparato auxiliar se cree poder reconocer —por la fluorescencia de luminosidad uniforme de la pared de vidrio semiesférica que está situada sobre la

placa de platino— que no existen grandes diferencias de intensidad en las distintas direcciones, es decir, que no puede valer aquí la ley de emisión de Lambert; sin embargo, esta fluorescencia podría estar originada en su mayor parte por rayos catódicos.

Para una prueba más exacta, se investigaron diversos tubos, por medio del fotómetro, respecto a la intensidad de la radiación en diferentes direcciones, y, además, he expuesto, con el mismo objeto películas fotográficas, curvadas en semicírculo (radio 25 cm), alrededor de la placa del aparato de descarga, con éste como centro. En ambos procedimientos la desigualdad en el espesor de los diferentes puntos de la pared de vidrio perturba mucho, ya que los rayos X que salen en diferentes direcciones son detenidos en medida desigual. Sin embargo, es posible hacer que el espesor del vidrio atravesado sea bastante uniforme, intercalando delgadas láminas adicionales del mismo material.

El resultado de estos experimentos es que la irradiación sobre una esfera que imaginamos construída sobre la placa de platino, con ésta como centro, es aproximadamente uniforme casi hasta el borde. Sólo cuando el ángulo de emisión era de unos 80°, pude notar el comienzo de un decrecimiento de la irradiación, y aun éste es relativamente pequeño, de tal modo que la variación principal de intensidad se halla entre 89° y 90°.

No he podido notar ninguna diferencia en la clase de los rayos emitidos en diferentes direcciones.

A causa de la distribución mencionada de la intensidad de los rayos X, las imágenes de la placa de platino que se obtienen con una cámara oscura —o con una hendidura estrecha— ya sea sobre una pantalla fluorescente o sobre una placa fotográfica, deben ser tanto más intensas cuanto mayor sea el ángulo que forma dicha placa de platino con la pantalla o la placa fotográfica, siempre que dicho ángulo no exceda los 80°. Por medio de dispositivos adecuados, que permiten comparar entre sí las imágenes obtenidas simultáneamente bajo diferen-

tes ángulos con el mismo tubo de descarga, pude comprobar esta conclusión.

Un caso análogo de distribución de la intensidad de los rayos emitidos lo encontramos en óptica al estudiar la fluorescencia. Si en un recipiente cuadrado, lleno de agua, se dejan caer algunas gotas de solución de fluoresceína y se ilumina el recipiente con luz blanca o violeta, se observa que la luz de fluorescencia más intensa parte de los bordes de los filamentos de fluoresceína que descienden lentamente, es decir de aquellos lugares desde los cuales el ángulo de emisión de la luz de fluorescencia es máximo. Ahora bien, es digno de mención el hecho de que también los rayos catódicos generadores de los rayos X son absorbidos por el platino mucho más intensamente que los rayos X, y por ello es lógico sospechar que entre ambos procesos —transformación de luz en luz de fluorescencia y de rayos catódicos en rayos X— existe algún vínculo. Sin embargo, no hay todavía ninguna razón concluyente para admitirlo.

También en lo que se refiere a la técnica de la obtención de imágenes de sombra por medio de los rayos X, tienen considerable significado las observaciones sobre la distribución de intensidad de los rayos emitidos por la placa de platino. De acuerdo con lo dicho más arriba, será conveniente colocar el tubo de descarga de tal modo que los rayos que son utilizados para producir la imagen abandonen la placa de platino bajo el mayor ángulo posible, que no exceda mucho, sin embargo, a los 80°; así se obtienen las imágenes más nítidas posibles y siempre que la placa de platino sea bien plana, y el tubo construido de tal modo que los rayos emitidos oblicuamente no deban atravesar una pared de vidrio sensiblemente más gruesa que los rayos emitidos perpendicularmente, la irradiación del objeto tampoco sufre una pérdida de intensidad a causa de la disposición mencionada.

4) En mi primera comunicación llamé "transparencia de un cuerpo" a la relación entre la luminosidad de una panta-

lla fluorescente colocada inmediatamente detrás del cuerpo, perpendicular a los rayos, y la luminosidad que presenta la pantalla sin interposición del cuerpo, pero en igualdad de las restantes condiciones. Llamaremos transparencia específica de un cuerpo a la transparencia de la unidad de espesor; es igual a la raíz d -ésima de la transparencia, si d es el espesor de la capa atravesada, medido en la dirección de los rayos.

Para determinar la transparencia, he utilizado principalmente, desde mi primera comunicación, el fotómetro descripto más arriba. Delante de una de las dos mitades de la pantalla que fluorescen con la misma intensidad, se colocaba una lámina del cuerpo investigador —aluminio, estañola, vidrio, etc.—, y la igualdad de las luminosidades así perturbada se restablecía de nuevo, ya sea alejando el aparato de descarga que irradiaba la mitad libre de la pantalla, o acercando el otro. En ambos casos, el valor buscado, de la transparencia del cuerpo considerado, es la razón entre los cuadrados, tomados en orden conveniente, de las distancias entre la placa de platino del aparato de descarga y la pantalla, antes y después de desplazar el aparato. Ambos procedimientos condujeron al mismo resultado. Adosando otra placa a la primera, se encuentra análogamente la transparencia de la segunda placa para rayos que ya han atravesado una placa.

El método descrito, presupone que la luminosidad de una pantalla fluorescente es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a la fuente de rayos, y esto sólo ocurre: primero, si el aire no absorbe ni emite rayos X, y, segundo, si la intensidad de la luz de fluorescencia es proporcional a la intensidad de la irradiación con rayos de la misma naturaleza. Ahora bien, la primera condición ciertamente no se cumple, y es problemático que se cumpla la segunda; por ello me convení desde un principio —por medio de experimentos como los que ya se han descrito en el § 10 de mi primera comunicación— de que las desviaciones de la mencionada ley de proporcionalidad son tan pequeñas que pueden ser despreciadas en este caso. También hay que mencionar, con respecto al hecho de

que de los cuerpos irradiados parten de nuevo rayos X, primero: que no se pudo encontrar, con el fotómetro, ninguna diferencia entre la transparencia de una placa de aluminio de 0,925 mm y la de 31 hojas superpuestas de aluminio de 0,0299 mm de espesor $-31 \times 0,0299 = 0,927-$; y segundo: que en la luminosidad de la pantalla fluorescente no había diferencia perceptible cuando la placa se colocaba inmediatamente delante de la pantalla o a apreciable distancia de la misma.

El resultado de estas investigaciones sobre transparencia para el aluminio es el siguiente:

TRANSPARENCIA PARA RAYOS PERPENDICULARES	TUBO 2	TUBO 3	TUBO 4	TUBO 2
de la 1ª placa de aluminio de 1 mm de espesor	0,40	0,45	—	0,68
" " 2ª " " " " 1 mm " "	0,55	0,68	—	0,73
" " 1ª " " " " 2 mm " "	—	0,30	0,39	0,50
" " 2ª " " " " 2 mm " "	—	0,39	0,54	0,63

De estas y otras investigaciones análogas efectuadas con vidrio y estañola obtenemos por lo pronto el siguiente resultado: si nos imaginamos al cuerpo investigado descompuesto en capas de igual espesor, perpendiculares a los rayos paralelos, cada una de estas capas es más transparente que la anterior para los rayos que inciden sobre ella; en otras palabras: la transparencia específica de un cuerpo es tanto mayor cuanto más grueso es el cuerpo considerado.

Este resultado está completamente de acuerdo con lo que se puede observar en la fotografía de una escala de estañola que se menciona en el § 4 de mi primera comunicación, y también con el hecho de que a veces la sombra de delgadas capas, como por ejemplo la del papel que se emplea para envolver la placa, se hace relativamente notable en las imágenes fotográficas.

5) Cuando dos placas de diferentes cuerpos tienen la misma transparencia, esta igualdad no tiene por qué subsistir si se varía en la misma relación el espesor de ambas placas, y las otras condiciones permanecen invariadas. Este hecho se puede

demostrar de la manera más simple con la ayuda de dos escalas de platino o de aluminio yuxtapuestas. Utilicé para ello hojas de platino de 0,0026 mm y hojas de aluminio de 0,0299 mm de espesor. Poniendo la doble escala delante de la pantalla fluorescente o de una placa fotográfica, encontré, por ejemplo, en un caso, que una capa simple de platino tenía la misma transparencia que una séxtuple capa de aluminio; pero entonces la transparencia de una capa doble de platino no era igual a la de 12 capas de aluminio, sino a la de 16 capas. Usando otro tubo de descarga obtuve 1 de platino=8 de aluminio; y 8 de platino=90 de aluminio. De estas investigaciones resulta que la relación de los espesores de platino y aluminio de igual transparencia es tanto más pequeña cuanto más gruesas son las capas consideradas.

6) La relación entre los espesores de 2 placas de igual transparencia de diferente material, depende del espesor y del material del cuerpo —por ejemplo la pared de vidrio del aparato de descarga— que los rayos tienen que atravesar antes de incidir sobre las placas consideradas.

Para comprobar este resultado —que no es inesperado de acuerdo con lo dicho en los § 4 y 5—, puede utilizarse un dispositivo, que he denominado ventana de platino-aluminio y que, como veremos, sirve también para otros fines. Consta de un trozo rectangular (4,0 x 6,5 cm) de hoja de platino de 0,0026 mm de espesor, en el cual, por medio de un sacabocados se han hecho 15 agujeros redondos de 0,7 cm de diámetro, dispuestos en tres filas; este trozo de platino está pegado sobre una delgada pantalla de papel. Dichos agujeros están recubiertos con disquitos de hojas de aluminio, de 0,0299 mm de espesor, que encajan perfectamente y están cuidadosamente superpuestos, de tal modo que en la primera ventana hay un disquito, en la segunda dos, etc., y finalmente quince en la vigésimoquinta. Si colocamos este dispositivo delante de la pantalla fluorescente, reconocemos con facilidad, siempre que el tubo no sea muy duro (véase más abajo) cuántas hojuelas de

aluminio tienen la misma transparencia que la hoja de platino. Este número se denominará, brevemente, número de ventana.

Como número de ventana obtuve en un caso con irradiación *directa* el número 5; después de haber intercalado una placa de vidrio sódico común de 2 mm de espesor obtuve el número de ventana 10; de modo que la relación de los espesores de capas de platino y aluminio de igual transparencia se había reducido a la mitad, cuando en lugar de usar los rayos directos que vienen del aparato de descarga, usaba los que habían atravesado una placa de vidrio de 2 mm de espesor, q. d. e.

El siguiente experimento es también digno de ser mencionado aquí. La ventana de platino-aluminio fué colocada sobre un paquete que contenía 12 películas fotográficas superpuestas y luego fué irradiado; después de revelado, la primera película colocada debajo de la ventana acusó el número 10, la duodécima el número 13 y las restantes, en correcto orden, las transiciones de 10 a 13.

7) Las investigaciones mencionadas en los § 4, 5 y 6 se refieren a la variación que sufren los rayos X emitidos por un tubo de descarga al atravesar diferentes cuerpos. Ahora vamos a demostrar que un mismo cuerpo, con el mismo espesor, puede tener diferente transparencia para los rayos emitidos por diferentes tubos.

En la siguiente tabla se han dado con este fin los valores de la transparencia de una placa de aluminio de 2 mm de espesor para los rayos producidos en diferentes tubos. Algunos de estos valores están tomados de la tabla de la página 186.

TRANSPARENCIA PARA RAYOS PERPENDICULARES	TUBO					
	1	2	3	4	2	5
de una placa de aluminio de 2 mm de espesor	0,0044	0,22	0,30	0,39	0,50	0,59

Los tubos de descarga no difieren esencialmente por su construcción o por el espesor de su pared de vidrio, sino, principalmente, por el grado de enrarecimiento de su contenido gaseoso y por el potencial de descarga que éste condiciona; el tubo 1 necesita la menor diferencia de potencial, el tubo 5 la mayor o, como diremos brevemente, el tubo 1 es el más blando, el tubo 5 es el más duro. En todos los casos se usó la misma bobina de Ruhmkorff —en comunicación directa con los tubos—, el mismo interruptor y la misma intensidad de la corriente primaria.

En forma análoga al aluminio se comportan los muchos otros cuerpos investigados por mí; todos son más transparentes para rayos de un tubo duro que para rayos de un tubo blando 1. Este hecho me parece digno de especial atención.

También la relación de los espesores de dos placas de igual transparencia de diferentes cuerpos depende de la dureza del tubo de descarga empleado. Esto se reconoce en seguida con la ventana de platino-aluminio (§ 5); con un tubo muy blando se encuentra, por ejemplo, el número de ventana 2 y para tubos muy duros, por lo demás iguales, la escala que va hasta el número 15 ya ni siquiera alcanza. Esto significa, pues, que la relación de los espesores de platino-aluminio de igual transparencia es tanto más pequeña cuanto más duros son los tubos de los cuales provienen los rayos, o —de acuerdo con el resultado mencionado más arriba— cuanto menos absorbibles son los rayos.

El diferente comportamiento de los rayos producidos en tubos de diferente dureza también se hace perceptible naturalmente en las conocidas imágenes de sombra de manos, etc. Con un tubo muy blando, se obtienen imágenes oscuras en las cuales los huesos se destacan poco; empleando un tubo más duro los huesos son muy nítidos y visibles en todos sus detalles, siendo, por el contrario, débiles las partes blandas; y, con un tubo

1 Respecto al comportamiento de tubos "no normales" ver más adelante, págs. 192 y ss.

muy duro, se obtienen nada más que débiles sombras de los huesos. De lo dicho se desprende que la elección del tubo que se va a usar, debe basarse en la configuración del objeto a radiografiarse.

8) Queda por mencionar que la calidad de los rayos producidos por un mismo tubo depende de diversas circunstancias. Como lo enseña la investigación con la ventana de platino-aluminio, dicha calidad está influenciada: 1) Por la forma en que el interruptor de Deprez o de Foucault actúa sobre el aparato de inducción ¹, es decir, de la marcha de la corriente primaria. Aquí corresponde considerar el hecho, a menudo observado, de que algunas de las descargas que se suceden rápidamente engendran rayos X, que no sólo son especialmente intensos, sino que también se diferencian de los demás por su absorbibilidad. 2) Por el chispeador que se intercala en el circuito secundario antes del aparato de descarga. 3) Por la intercalación de un transformador de Tesla. 4) Por el grado de vacío del aparato de descarga (como ya se ha mencionado). 5) Por diversos procesos, aún no lo bastante bien conocidos, que se producen en el interior del tubo de descarga. Algunos de estos factores merecen una discusión más a fondo.

Si tomamos un tubo que todavía no haya sido usado ni evacuado, y lo conectamos con la bomba de mercurio, lograremos, después de evacuar y calentar suficientemente el tubo, un grado de enrarecimiento para el cual los primeros rayos X se hacen perceptibles por una débil luminosidad de una pantalla fluorescente cercana. Un chispeador, conectado en paralelo con el tubo, produce chispas de pocos milímetros de largo; la ventana de platino-aluminio acusa números bajos; los rayos son muy absorbibles. El tubo es "muy blando". Ahora, si se conecta en serie un chispeador o se intercala un transfor-

¹ Un buen interruptor de Deprez funciona con más regularidad que uno de Foucault; en cambio éste aprovecha mejor la corriente primaria.

mador de Tesla ¹ se producen rayos más intensos y menos absorbibles. Así, p. ej., encontré un caso, en que alargando el chispeador, el número de ventana podía ser aumentado gradualmente desde 2,5 hasta 10.

(Estas observaciones me condujeron al problema de si no pueden obtenerse rayos X, también, a mayores presiones, por medio de un transformador de Tesla. Éste es, en efecto, el caso: con un estrecho tubo con electrodos en forma de alambre, pude todavía obtener rayos X cuando la presión del aire encerrado era de 3,1 mm de mercurio. Si se tomaba hidrógeno en lugar de aire, la presión podía ser mayor aún. No me fué posible determinar la presión mínima a la cual todavía se pueden obtener rayos X, pero ésta es en todo caso menor que 0,0002 mm de modo que el intervalo de presión dentro del cual se pueden obtener rayos X es ya hoy bastante amplio.)

Una evacuación ulterior del tubo "muy blando" —conectado directamente con el inductor— trae como resultado que la radiación se haga más intensa, y que una mayor fracción de la misma atraviese el cuerpo irradiado. Una mano colocada delante de la pantalla fluorescente es más transparente que antes y en la ventana de platino-aluminio se registran números de ventana más grandes. Al mismo tiempo, había que alargar el chispeador conectado en paralelo, para permitir que la descarga pasase por el tubo: éste se ha vuelto "más duro". Si se evacua aún más el tubo, éste se hace tan "duro" que el chispeador debe alargarse hasta más de 20 cm, y en esas condiciones el tubo emite rayos para los cuales los cuerpos son extraordinariamente transparentes: placas de hierro de 4 cm de espesor resultaron todavía transparentes.

El comportamiento descrito de un tubo directamente conectado con la bomba de mercurio y el inductor es el normal;

¹ El hecho de que un chispeador conectado en serie actúa en forma semejante a un transformador de Tesla lo pude mencionar en la edición francesa de mi segunda comunicación (Archives des Sciences Physiques, etc., de Genève, 1896); en la edición alemana, esta observación fué omitida por descuido.

son frecuentes las desviaciones de esta regla, originadas por las mismas descargas. El comportamiento de los tubos es en realidad completamente imposible de calcular algunas veces.

El endurecimiento de un tubo lo consideramos originado por el enrarecimiento progresivo efectuado con la bomba; pero puede producirse de otras maneras. Así, un tubo que se ha cerrado a soplete en la bomba, con mediana dureza, también se hace constantemente más duro —lo que es de lamentar desde el punto de vista de su duración— si se usa en forma correcta para generar rayos X, es decir, si se hace atravesar por descargas que no pongan incandescente al platino, o sólo lo hagan débilmente. Se produce una auto-evacuación progresiva.

Con uno de estos tubos vueltos muy duros obtuve una hermosa imagen fotográfica de sombra de los dos caños de una escopeta de caza cargada, en la cual se ven muy clara y nítidamente todos los detalles de los cartuchos, las fallas interiores de los caños, etc. La distancia entre la placa de platino del tubo de descarga y la placa fotográfica era de 15 cm, y la exposición duró 12 minutos —tiempo relativamente largo, a causa de la menor actividad fotográfica de los rayos menos absorbibles (ver más abajo). El interruptor de Deprez tuvo que ser reemplazado por el de Foucault. Sería interesante construir tubos que permitan emplear potenciales de descarga más altos que los que hoy son posibles.

Como causa del endurecimiento de un tubo que se ha cerrado a soplete, en la bomba, se indicó más arriba la auto-evacuación originada por descargas; pero no es ésta la única causa; también en los electrodos se producen modificaciones que originan dicho efecto. Ignoro en qué consisten.

Un tubo que se ha endurecido demasiado puede ser ablandado dejando entrar aire a veces, también, calentando el tubo o invirtiendo el sentido de la corriente; y, finalmente, mandando a través de él descargas muy poderosas. En el último caso, sin embargo, el tubo adquiere casi siempre otras propiedades que las descritas más arriba. Así, por ejemplo, requiere a veces un potencial de descarga muy grande, a pesar de lo cual

emite rayos de relativamente pequeño número de ventana y gran absorbibilidad. Sobre el comportamiento de estos “tubos no normales” no deseo entrar en detalles. Los tubos de vacío regulable construídos por el Sr. Zehnder, que contienen un trocito de carbón de tilo, me han prestado muy buenos servicios.

Las observaciones mencionadas en este párrafo, y otras, me han conducido a la idea de que la composición de los rayos emitidos por un tubo de descarga provisto de un ánodo de platino está esencialmente condicionada por la marcha temporal de la corriente de descarga. El grado de enrarecimiento, la dureza, sólo juega un papel porque de él depende la forma de la descarga. Si se logra producir de alguna manera la forma de descarga necesaria para la génesis de los rayos X, también se pueden obtener rayos X aún para presiones relativamente altas.

Finalmente, es también digno de mención que la calidad de los rayos generados por un tubo no se modifica, o lo hace muy poco, por variaciones considerables de la intensidad de la corriente primaria, supuesto que el interruptor funciona igual en todos los casos. Por el contrario, dentro de ciertos límites, la intensidad de los rayos X resulta ser proporcional a la intensidad de la corriente primaria, como lo prueba el siguiente experimento. En un caso determinado, las distancias desde el aparato de descarga, a las cuales la fluorescencia de una pantalla de platino-cianuro de bario era aún apenas perceptible fueron de 18,1 m, 25,7 m y 37,5 m, cuando la intensidad de la corriente primaria valía 8, 16 y 32 amperios respectivamente. Los cuadrados de dichas distancias están aproximadamente entre sí como las intensidades correspondientes.

9) Los resultados consignados en los cinco últimos párrafos se deducen inmediatamente de los experimentos mencionados aisladamente. Si examinamos panorámicamente estos resultados individuales llegamos, guiados en parte por la analogía que existe entre el comportamiento de los rayos luminosos y los rayos X, a la siguiente representación:

a) La radiación emitida por un aparato de descarga consta de una mezcla de rayos de diferente absorbibilidad e intensidad.

b) La composición de esta mezcla depende esencialmente de la marcha temporal de la corriente de descarga.

c) Los rayos preferidos por los cuerpos en la absorción son diferentes para diferentes cuerpos.

d) Como los rayos X son engendrados por los rayos catódicos, y ambos tienen propiedades comunes —producción de fluorescencia, acciones fotográficas y eléctricas, absorbibilidad cuya longitud está esencialmente condicionada por la densidad del medio atravesado, etc.—, es lógico sospechar que ambos fenómenos son procesos de la misma naturaleza. Sin querer adherirme incondicionalmente a esta opinión, deseo sin embargo hacer notar que los resultados de los últimos párrafos son adecuados para eliminar una dificultad que hasta ahora se oponía a aquella sospecha. Esta dificultad consiste, en primer lugar, en la gran diferencia que existe entre la absorbibilidad de los rayos catódicos investigados por el Sr. Lenard y la de los rayos X; y, en segundo lugar, en que la transparencia de los cuerpos para dichos rayos catódicos depende de la densidad del cuerpo según una ley diferente de la que rige para los rayos X.

Respecto del primer punto, hay que tener en cuenta dos cosas: 1. — Vimos en el § 7 que hay rayos X de muy diferente absorbibilidad, y sabemos, por las investigaciones de Hertz y Lenard, que también los diferentes rayos catódicos se diferencian unos de otros por su absorbibilidad; entonces, si bien el tubo “más blando” mencionado en la pág. 189 producía rayos cuya absorbibilidad no se acerca, ni con mucho, a la de los rayos catódicos investigados por el Sr. Lenard, es indudable que deben existir rayos X de mayor absorbibilidad aún y, por otra parte, rayos catódicos en que dicha absorbibilidad sea todavía menor. Parece por esto bien probable que, en investigaciones ulteriores, puedan encontrarse rayos que, en lo referente a su absorbibilidad, constituyan la transición entre

ambas clases de rayos. 2. — Encontramos en el § 4 que la transparencia específica de un cuerpo es tanto más pequeña cuanto más delgada es la placa atravesada. Por consiguiente, si en nuestras investigaciones hubiésemos usado placas tan delgadas como el Sr. Lenard, habríamos encontrado para la absorbibilidad valores que estarían más próximos a los de Lenard.

Respecto a la diferente influencia de la densidad de los cuerpos sobre la absorbibilidad de los rayos X y de los rayos catódicos, hay que decir que esta diferencia se encuentra también tanto más pequeña, cuanto más fuertemente absorbibles son los rayos X elegidos para el experimento, (§ 7 y § 8) y cuanto más delgadas son las placas atravesadas (§ 5). Por consiguiente, existe la posibilidad de que esta diferencia entre el comportamiento de ambas clases de rayos pueda hacerse desaparecer, conjuntamente con la antes mencionada, en el curso de ulteriores investigaciones. Los que más se parecen en su comportamiento frente a la absorción son los rayos catódicos que se encuentran de preferencia en tubos muy duros, y los rayos X que salen preferentemente de la placa de platino de tubos muy blandos.

10) Además de excitar la fluorescencia, los rayos X tienen, como es sabido, acciones fotográficas, eléctricas y otras, y es interesante saber en qué medida son paralelas entre sí cuando se modifica la fuente de radiación. He tenido que limitarme a comparar entre sí las dos acciones mencionadas en primer término.

Para ello se presta, por de pronto, de nuevo, la ventana de platino-aluminio. Una ventana se colocó sobre una placa fotográfica envuelta, y otra, delante de la pantalla fluorescente, y luego se llevaron ambas a igual distancia del aparato de descarga. Los rayos tenían que atravesar exactamente los mismos medios para llegar hasta la capa sensible de la placa fotográfica y el platino-cianuro de bario. Durante la exposición observé la pantalla y comprobé el número de ventana; después del revelado, también se determinó sobre la placa el número

de ventana, y luego se compararon entre sí ambos números. El resultado de tales investigaciones es que, empleando tubos blandos (número de ventana 4-7), no hay diferencia perceptible; empleando tubos más duros, me pareció observar que el número de ventana sobre la placa fotográfica era un poco menor, pero a lo sumo una unidad por debajo del número determinado mediante la pantalla fluoroscópica. Por lo demás, esta observación, a pesar de haberse confirmado repetidas veces, no es del todo inobjetable, debido a que la determinación de números de ventana altos con la pantalla fluorescente es bastante difícil.

Al juzgar estos resultados, no podemos dejar de considerar que ni la pantalla fluorescente ni la placa fotográfica aprovechan totalmente los rayos incidentes; ambos dejan pasar todavía muchos rayos, que pueden producir nuevamente fluorescencia o acciones fotográficas. Según esto, el resultado mencionado sólo vale, por de pronto, para los espesores usuales de la capa fotográfica sensible y de la capa de platino-cianuro de bario.

Cuán alta es la transparencia de la capa sensible de la placa fotográfica, aun para rayos X de dureza mediana, lo prueba el siguiente experimento: 96 películas fotográficas superpuestas, colocadas dentro de una caja de plomo para protegerlas contra la radiación del aire, fueron expuestas durante 5 minutos a 25 cm de la fuente de rayos. Hasta en la última película fué posible reconocer claramente una acción fotográfica, mientras que la primera apenas estaba velada. Inducido por éstas y otras observaciones análogas, he preguntado a algunos fabricantes de material fotográfico si no sería posible preparar placas más adecuadas que las comunes, para la fotografía con rayos X. Sin embargo, las pruebas remitidas no fueron utilizables.

Como ya se ha mencionado anteriormente, a menudo tuve ocasión de comprobar que los tubos muy duros requieren, en igualdad de las demás condiciones, mayor tiempo de exposición; esto se comprende si recordamos el resultado consignado

en el § 9, según el cual todos los cuerpos investigados son más transparentes para los rayos emitidos por tubos duros, que para los que parten de tubos blandos. Que con tubos muy blandos haya que exponer otra vez durante largo tiempo se puede explicar por la menor intensidad de los rayos emitidos por el mismo.

Cuando la intensidad de los rayos se aumenta, incrementando la intensidad de la corriente primaria (ver más arriba), la acción fotográfica crece en la misma medida que la intensidad de la fluorescencia; y es posible que en este caso, y en el descrito más arriba —en el cual se varía la intensidad de la irradiación de la pantalla fluorescente variando la distancia entre la pantalla y la fuente de rayos— la luminosidad de la fluorescencia sea proporcional —por lo menos aproximadamente— a la intensidad de la irradiación. Pero no es lícito emplear esta regla en forma general.

11) Para finalizar, séame permitido consignar los siguientes pormenores.

En un tubo de descarga bien construido, no muy blando, los rayos X parten, principalmente, de una región de la placa de platino alcanzada por los rayos catódicos, que sólo tiene de 1 a 2 mm de extensión; sin embargo, no es el único punto de partida: toda la placa y una porción de la pared del tubo emiten rayos X, si bien en mucho menor escala. En efecto, del cátodo parten rayos catódicos en todas direcciones, pero la intensidad de los mismos sólo es muy considerable en la proximidad del eje del espejo cóncavo, y por eso en la placa de platino se generan los rayos X más intensos, allí donde la encuentra dicho eje. Cuando el tubo es muy duro y el platino muy delgado, también parten muchos rayos X del lado posterior de la placa de platino, y, como lo revela la cámara oscura, otra vez, de preferencia, en una región situada en el eje del espejo.

También en otros tubos más duros fué posible desviar de la placa de platino el máximo de intensidad de los rayos catódicos. Algunas observaciones hechas por mí en tubos blandos me

indujeron a retomar de nuevo, con mejores medios, el problema de la desviación magnética de los rayos X; espero poder informar dentro de poco sobre estos experimentos.

He proseguido los experimentos mencionados en mi primera comunicación, sobre la transparencia de placas de igual espesor talladas de un cristal según diferentes direcciones. Fueron investigadas placas de Calcita, Cuarzo, Turmalina, Berilo, Aragonita, Apatita y Baritina. Tampoco ahora pudo reconocerse ninguna influencia de la dirección sobre la transparencia.

El hecho observado por el Sr. G. Brandes, de que los rayos X pueden producir sobre la retina un estímulo luminoso, ha sido confirmado por mí. También en mi diario de observaciones hay una nota, de principios de noviembre de 1895, según la cual, estando en una pieza completamente a oscuras, cerca de una puerta de madera en cuyo lado exterior estaba fijo un tubo de Hittorf, pude percibir una débil aparición luminosa, que se extendía a todo el campo visual, cuando se mandaban descargas a través del tubo. Como sólo observé una vez este fenómeno luminoso, pensé que era subjetivo, y la causa de no haberlo podido repetir reside en el hecho de que, en lugar del tubo de Hittorf, se usaron luego otros aparatos menos evacuados y sin ánodo de platino. El tubo de Hittorf produce, a causa del alto enrarecimiento de su contenido, rayos de pequeña absorbencia, y a causa de la existencia de un ánodo de platino, que es alcanzado por los rayos catódicos, rayos intensos, lo cual es favorable para la producción del fenómeno luminoso mencionado. Tuve que reemplazar los tubos de Hittorf por otros, porque todos se perforaban al cabo de poco tiempo.

Con los tubos duros que ahora se hallan en uso, el experimento de Brandes se puede repetir con facilidad. Quizá sea de algún interés la descripción del siguiente experimento. Si se sostiene verticalmente, lo más cerca posible del ojo, abierto o cerrado, una hendidura metálica de pocos décimos de milímetro de ancho, y se coloca luego la cabeza, envuelta en un trapo negro, cerca del aparato de descarga, se percibe, después de algunos ensayos, una débil banda luminosa, no homogénea,

que tiene forma diferente según el lugar que ocupa la hendidura delante del ojo: recta, curvada o circular. Moviéndola horizontalmente, con lentitud, se puede lograr que dichas formas pasen gradualmente de una a otra. Se encuentra, en seguida, una explicación de este fenómeno si se piensa que el globo ocular es cortado por un haz laminar de rayos X, y si se admite que los rayos X pueden generar fluorescencia en la retina.

Desde el comienzo de mi trabajo sobre rayos X, me he esforzado repetidas veces para obtener fenómenos de difracción de estos rayos; en repetidas ocasiones obtuve, con hendiduras estrechas, etc., fenómenos cuyo aspecto recordaba sin duda las figuras de difracción, pero cuando se ponía a prueba la exactitud de la explicación de estas figuras por difracción cambiando las condiciones experimentales, fallaba en todos los casos, y en muchos de ellos puede probar directamente que los fenómenos se habían producido en una forma completamente distinta de la difracción conocida. No puedo mencionar ningún experimento a partir del cual poder fundar, con suficiente seguridad, el convencimiento de la existencia de una difracción de rayos X.

Würzburg, Instituto de Física de la Universidad,
10 de marzo de 1897.

ÍNDICE

Introducción

<i>Precursores de Röntgen: Desde Francisco Hauksbee hasta Felipe Lenard</i>	9
---	---

Capítulo I

JUVENTUD DE RÖNTGEN

1. — <i>La casa paterna y el Liceo: Linaje de los Röntgen. — Designios paternos. — Avatares escolares del joven. — Expulsado del Liceo</i>	21
2. — <i>Años estudiantiles en Zürich: Rodolfo Clausius, su maestro.</i>	
3. — <i>Primeros obstáculos: La guerra franco-prusiana. — Würzburg. — Röntgen profesor auxiliar en Estrasburgo</i>	38

Capítulo II

MARCHA HACIA LA CIMA

1. — <i>El joven experimentador: Junto a Augusto Kundt. — Pequeños hallazgos. — Röntgen rectifica a Laplace. — Estudios sobre cristales. — El plano de polarización de la luz en los gases. — Primeros éxitos</i>	42
2. — <i>Profesor en Giessen: Maestro en mediciones exactas. — Su cariño por los instrumentos de precisión. — Röntgen explica la piroelectricidad. — Descubre la corriente Röntgen. — El problema del viento de éter</i>	50
3. — <i>Röntgen en Würzburg: La vieja Alma Mater. — Viajes a Suiza e Italia. — La hija adoptiva. — Su asistencia, el doctor Zehnder. — Investigaciones sobre los efectos de altas presiones. — Röntgen, rector de la Universidad</i>	63

Capítulo III

EL GRAN DESCUBRIMIENTO

1. — <i>El silencio de Röntgen: Röntgen y Newton. — Mutismo de las fuentes directas de la historia del descubrimiento de los rayos X</i>	70
2. — <i>Cómo fueron descubiertos los rayos X: La ventanilla de Lenard. — Experimentos de Röntgen con tubos catódicos. — Los acontecimientos del 8 de noviembre de 1895. — La pan-</i>	

- talla reveladora. — Comprobación de la realidad de los nuevos rayos. — Su poder de penetración 73
3. — *La intervención del azar*: Entrevista con el periodista Dam. — ¿Fué casual el descubrimiento? — El papel providencial de la pantalla fluorescente. — Otra versión: el anillo en la caja. — El testimonio de Marsteller, ordenanza de Röntgen 78
4. — *La primera comunicación sobre los rayos*: Röntgen explora la fuente y propagación de los rayos. — Parentesco de la radiación X con la luz. — Rayos blandos y duros. — La primera radiografía 87
5. — *Edad heroica de la radiografía y radioscopía*: Primeras impresiones en los círculos científicos. — Nacimiento de la radiografía. — Atlas radiográfico del esqueleto humano. — Mártires entre los iniciadores. — Dificultades vencidas: fotografías de órganos. — Radiografía de la dentadura humana. — Imágenes fluoroscópicas. — Cinematografía con rayos X. — Experimentos terapéuticos. — Primeras aplicaciones técnicas e industriales 94
6. — *Placeres y amarguras de la fama*: Diluvio de distinciones. — Röntgen en el palacio Imperial. — Guillermo II y el descubridor. — La segunda memoria. — El poder ionizador de los rayos. — Dosimetría de la radiación X. — La tercera memoria. — Factores que determinan la dureza de los rayos. — Directivas del descubridor para el uso de los tubos. — El desinterés de Röntgen. — Adversarios y calumnias. — Laureado del premio Nobel 107

Capítulo IV

NUEVOS OJOS: LOS RAYOS X

1. — *Los rayos X en la física*: Dificultades para establecer el carácter físico de los rayos. — Barkla y la polarización de la radiación X. — Insuficiencia de las retículas ópticas para provocar la difracción de los rayos. — La genial idea de Laue. — Demostración de la naturaleza ondulatoria de los rayos X. — Investigaciones de los Bragg, padre e hijo. — Medición de la longitud de onda. — Análisis de cristales con los rayos X. — Experimentos de Moseley: Los rayos característicos. — Espectros con rayos X. — Descubrimiento del número atómico. — La renovada tabla de Mendelejeff. — Descubrimiento previsto de nuevos elementos. — Profundo sentido del número atómico. — Niveles orbitales de los electrones en el interior atómico. — Mecanismo de la emisión de los rayos X. — Rayos X en el

- interior de las estrellas. — El efecto Compton. — Estructura corpuscular de todas las radiaciones electromagnéticas. — Los fotones. — ¿Qué es un rayo X? 116
2. — *Desarrollo de los tubos generadores*: Los tubos de Röntgen. Creciente rendimiento de los tubos. — Exigencias técnicas de la radioterapia. — Insuficiencia de los tubos gaseosos. — El tubo electrónico de Coolidge 141

Capítulo V

VEJEZ Y MUERTE DEL DESCUBRIDOR

1. — *Su Excelencia*: Röntgen en Munich. — El décimo aniversario del descubrimiento. — La popularidad de Röntgen. — Nostalgia del pasado. — Los rayos X en la Guerra Mundial. — Röntgen y la tragedia alemana 148
2. — *Últimos años*: La señora de Röntgen fallece. — Últimos trabajos. — Röntgen y la teoría de la relatividad. — Su testamento. — Muerte del descubridor 157

Apéndice

LAS TRES MEMORIAS DE RÖNTGEN SOBRE LOS RAYOS X

1. — *Sobre una nueva clase de rayos*: (Primera comunicación) 162
2. — *Sobre una nueva clase de rayos*: (Segunda comunicación) 173
3. — *Observaciones ulteriores sobre las propiedades de los rayos X*: (Tercera comunicación) 179

ESTE LIBRO SE TERMINÓ DE
IMPRIMIR EL CATORCE DE
NOVIEMBRE DEL AÑO MIL
NOVECIENTOS CUARENTA Y
CINCO, EN LOS TALLERES
GRÁFICOS DE LA CÍA. IM-
PRESORA ARGENTINA, S.
A., ALSINA 2049, Bs. As.

Queda hecho el depósito que previene la Ley 11.723
Copyright by EMECÉ EDITORES, S. A. - Buenos Aires.

Universidad de Valparaíso
Chile



00152258