Profesor Wilhem C. Roentgen.

El denso silencio de la noche es repentinamente quebrado por el estruendoso ulular de una sirena. La veloz ambulancia llega hasta la entrada de emergencia del hospital, desde donde una pequeña con su rostro retorcido por el dolor es rápidamente trasladada hasta el pabellón de cirugía. La angustiosa mirada de los padres es certeramente interpretada por el cirujano: operaremos en cuanto conozcamos el resultado de la radiografía. Para muchos padres como ellos, los rayos X constituyen el milagro que un día salvó la preciosa vida de su hija. Para otros, significan una poderosa herramienta de investigación científica y tecnológica, que ha permitido lograr grandes avances en el campo de la Metalurgia y ramas afines.

Los cristalógrafos utilizan un fino e intenso haz de rayos X para descubrir la maravillosa arquitectura de los cristales, aprendiendo así la naturaleza de las fuerzas que mantienen a los átomos unidos.

En las artes plásticas, los rayos X son de gran utilidad para comprobar la autenticidad de valiosas obras de arte, así como también para investigar diferentes técnicas de pintura.

Para muchos otros, no resulta difícil relacionar los rayos X con la radioactividad, y por ende, con las gigantescas nubes atómicas que sembraron destrucción y horror durante una etapa negra en la historia de la humanidad.

Cualquiera que sea la idea que de los rayos X se tiene, no escapa al entendimiento del hombre común que su descubrimiento constituye uno de los más relevantes que ha abrazado la ciencia, por sus múltiples e importantes aplicaciones a que ha dado lugar durante el presente siglo.

LOS RAYOS X, UN DESCUBRIMIENTO TRASCENDENTAL

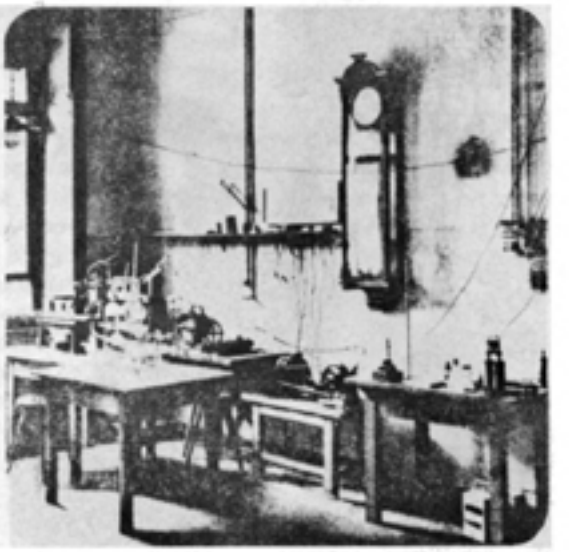
Jorge Garín Córdova
Director Departamento de Metalurgia UTE

EL DESCUBRIMIENTO DE ROENTGEN: UN NUEVO TIPO DE RADIACION

Uno de los fenómenos físicos que más atrajo la atención de los investigadores durante la segunda mitad del siglo XIX, fueron los rayos catódicos. Se dedicaron grandes esfuerzos a estudiar sus propie-

dades y determinar si se trataba de partículas o de alguna clase de radiación electromagnética. Resultaba relativamente simple sellar parcialmente al vacío un tubo de vidrio, al cual se le insertaban previamente dos electrodos metálicos, para luego aplicar una diferencia elevada de potencial entre ambos electrodos. A la luz visible emitida durante el proceso, se le llamó incorrectamente "fluorescencia" El término adecuado es "luminiscencia" o "cátodoluminiscencia" Casi al terminar el siglo, J. J. Thomson demostró en la Universidad de Cambridge que los rayos catódicos eran pequeñas partículas cargadas negativamente y con una masa equivalente a 1/1.800 de la masa del átomo de hidrógeno. El nombre de electrón se adoptó para tales partículas, a sugerencia del físico J. Stoney. Posteriormente, en 1910 Robert Millikan realizó en la Universidad de Chicago su famoso experimento de la gota de aceite, lo que permitió conocer con exactitud la carga absoluta del electrón.

No fue ajeno al interés creado por el fenómeno de los rayos catódicos, el físico alemán Wilhem Conrad Roentgen, profesor de la Universidad de Würzburg en Bavaria. Al atardecer de un día de noviembre de 1895, Roentgen encerró un tubo de rayos catódicos en una caja de cartón opaco a la luz. La naturaleza exacta del experimento que había planificado, nunca se supo, porque se reveló un fenómeno totalmente inesperado. En efecto, cuando Roentgen conectó su tubo a una bobina de inducción e hizo pasar una corriente eléctrica a través de él, observó en la penumbra de su laboratorio una tenue luminiscencia verdosa proveniente de un mesón cercano. La fantasmal luminiscencia atrajo la atención del físico, quien en un primer instante atribuyó su ocurrencia a una chispa de la bobina de alto voltaje. Al enviar nuevamente un pulso al tubo, observó directamente en la dirección de la luminosidad y comprobó por segunda vez el peculiar fenómeno, concluyendo que algo totalmente nuevo se estaba dando a conocer. Encendió en seguida un fósforo para buscar en la obscuridad del cuarto la causa del fenómeno, y encontró sobre el mesón una pantalla cubierta con platinocianuro de bario, fosforescente cuando se exponía a algún tipo de radiación. Al retirar Roentgen aún más la pantalla del tubo de rayos catódicos, el efecto se verificó nuevamente. Resultó claro entonces, que la luminiscencia no era causada por los rayos catódicos, los cuales eran fácilmente absorbidos por el tubo de vidrio, la caja de cartón y el aire. Una secuencia de experimentos demostró que la radiación responsable de esa luminiscencia emanaba del área del tubo de vidrio donde chocaba el haz de rayos catódicos. Roentgen comprendió inmediatamente que había descubierto una nueva clase de radiación, con un gran poder de penetración y totalmente invisible al ojo humano. Por esa razón denominó a ese tipo de radiación, rayos X.



Laboratorio del profesor Roentgen.

Durante las semanas de intenso trabajo que siguieron, Roentgen encontró con bastante entusiasmo que los nuevos rayos podían penetrar en forma selectiva a través de los diferentes materiales. Casualmente interpuso una de sus manos entre el tubo y la pantalla fluorescente, descubriendo con gran sorpresa cómo los huesos de la mano se perfilaban claramente sobre la pantalla. Gran aficionado a la fotografía, Roentgen no resistió la tentación de reemplazar la pantalla fluorescente por una placa fotográfica, logrando así la primera radiografía de la historia. Nuevos experimentos que el gran físico realizó, permitieron concluir que la radiación se producía con mayor eficiencia si los rayos catódicos incidían sobre un blanco metálico, que su intensidad aumentaba utilizando un metal pesado y un mayor voltaje de operación, y muchas otras características de los rayos X. También intentó varias experiencias con el fin de comprobar si los rayos se podían reflejar, refractar o difractar, sin obtener resultados positivos.

Convencido Roentgen de las considerables aplicaciones a que su descubrimiento podría conducir, decidió comunicarlo al mundo. Durante los últimos días de diciembre de 1895, envió a la Sociedad Médica y Física de Würzburg, su artículo titulado "Uber eine neue Art von Strahlen" (Sobre una Nueva Clase de Radiación). Al cabo de algunos días, después de realizada la publicación, las principales capitales del mundo recibían la sensacional noticia.

En Londres, el "Daily Chronicle" informó en su edición del 6 de enero de 1896 que "la alarma de la guerra no debería distraer la atención de un maravilloso triunfo de la ciencia, cuya información llega desde Viena. El profesor Roentgen, de la Universidad de Würzburg, ha descubierto una luz que, para efectos de fotografía, es capaz de penetrar en la madera, músculos, telas y muchas otras substancias orgánicas. El profesor fotografió exitosamente las pesas de metal que estaban en el interior de una caja cerrada de madera. También lo hizo con una mano, mostrando solamente los huesos y no la musculatura de ella"

"Sonría por favor". Alusión a la "nueva fotografía de Roentgen" aparecida en la revista LIFE de febrero de 1896.

El 23 de enero de 1896, Roentgen ofreció su primera conferencia pública acerca del trascendental descubrimiento. El anfiteatro se encontraba totalmente completo, y cuando Roentgen hizo su entrada, el auditorium lo recibió con un estruendoso aplauso. Roentgen comenzó la charla describiendo algunos factores prácticos del tubo. Entre otras cosas dijo: "Encontré por accidente que los rayos también atravesaban el papel opaco. Entonces usé madera y libros, pero aún no estaba convencido del fenómeno. Finalmente, recurrí a la película fotográfica y el experimento terminó exitosamente" Una vez finalizada la conferencia, Roentgen solicitó al anatomista de la Universidad, Albert von Kolliker, la colaboración para radiografiar su mano. Kolliker accedió y acto seguido colocó su mano sobre la película. El tubo, previamente cubierto con papel opaco, fue luego energizado. La fotografía fue rápidamente revelada y, ante la expectación de la distinguida audiencia y de los estudiantes presentes, mostró claramente los huesos y el tejido de la mano. El aplauso, ahora más estruendoso que el primero, se escuchó durante prolongado tiempo, como una manifestación de admiración por el interesante descubrimiento. Kolliker propuso que esos nuevos rayos fueran denominados rayos Roentgen, en honor al distinguido físico, quien, sin embargo, insistió en llamarlos rayos X.

Radiografía de la mano del profesor Kolliker.

La existencia de los rayos X fue también anunciada por un investigador norteamericano, quien lamentablemente no pudo aspirar al mérito de su descubrimiento, por no haber reconocido en un principio la verdadera naturaleza de él. En efecto, el físico A. W. Goodspeed, de Filadelfia, tomó accidentalmente una fotografía de rayos X en febrero de 1890, esto es, seis años antes del famoso experimento de Roentgen. Goodspeed atribuyó las manchas sobre la película a una filtración de luz, guardándola luego en un archivo

de efectos secundarios. Poco tiempo después del descubrimiento de Roentgen, y en ocasión de dictar una conferencia en la Universidad de Pennsylvania, donde exhibió su película, Goodspeed expresó: "No reclamamos mérito por este descubrimiento, porque después de todo, no realizamos ningún descubrimiento. Todo lo que pedimos es que ustedes, caballeros, recuerden que hace seis años se tomó la primera fotografía de rayos catódicos en el laboratorio de física de la Universidad de Pennsylvania"

El descubrimiento de los rayos X se difundió rápidamente por todo el mundo, revelándose muy pronto la radiografía como una aplicación fundamental, utilizada en los hospitales y luego en la industria, como una técnica de inspección no destructiva.

Probablemente, una de las primeras aplicaciones militares del nuevo descubrimiento, tomó lugar durante la guerra española-americana de 1898. El principal uso que en esa ocasión el ejército americano dio a los rayos X, consistió en la localización y extracción de proyectiles, y en el examen de fracturas. El desconocimiento que hasta la fecha se tenía sobre los efectos nocivos de la radiación, se manifestó drásticamente durante la campaña de Santiago. Debido a que las radiografías se tomaban en el mismo frente de batalla, con todos los inconvenientes imaginables, resultaba preciso repetir las exposiciones dos o tres veces, lo que en corto plazo se tradujo en severas quemaduras y úlceras de las partes expuestas, que en muchos casos demoraron hasta un año en sanar. Ante tal eventualidad, en que el efecto de los rayos X prácticamente se sumó a las fuerzas contrarias, se determinaron las primeras tablas de tiempos óptimos de exposición.

Por la gran contribución entregada a la ciencia, Wilhem C. Roentgen fue distinguido con el primer Premio Nobel que se otorgó en Física, en 1901.

EL PROFESOR ROENTGEN, UN INVESTIGADOR INCANSABLE

El genio infatigable de Roentgen se complementaba de manera especial con su gran habilidad para el trabajo de laboratorio y la aplicación de los resultados en un sentido práctico. Podía, además, reconocer fácilmente la inminencia de nuevos conocimientos, y elaborarlos hasta que quedaran integrados en una herencia científica.

Hasta el año 1897, Roentgen había publicado tres artículos científicos sobre los rayos X, presentando los resultados de investigación fundamental sobre varios efectos concernientes a la nueva clase de radiación y que hasta la fecha no habían sido exhaustivamente analizados. Estableció así, muchas de las leyes fundamentales que describen el fenómeno y los efectos relacionados con él.

La gran pasión de Roentgen por la ciencia, lo mantuvo ajeno a las ambiciones personales, a tal punto que nunca ganó un centavo como consecuencia de su genial descubrimiento. Al respecto, afirmaba: "De acuerdo con la tradición de los profesores de las universidades alemanas, soy de la opinión que sus descubrimientos e invenciones pertenecen a la humanidad, y que no deberían de modo alguno ser sujetos a patentes, licencias o contratos, así como tampoco ser controlados por ningún tipo de grupo" Al contrario, el gran inventor norteamericano, Thomas A. Edison, comentó públicamente: "Roentgen probablemente no usufructuó un simple dólar de su descubrimiento. Pertenece a esa clase de hombres de ciencia que estudian por placer y amor por escudriñar en los secretos de la naturaleza. Después que han descubierto algo maravilloso, invariablemente alguien ajeno a ello lo considera desde el punto de vista comercial. Este será también el caso con el descubrimiento de Roentgen. Es lógico que se trate de usar y explotar comercialmente"

Como resultado de una demostración ante el Kaiser Wilhem II, Roentgen fue honrado con una alta condecoración prusiana. Luego, cuando el príncipe de Bavaria le ofreció un título de nobleza, esto es, el privilegio de usar el prefijo "von" antes del apellido, cortésmente rehusó ser merecedor de tal distinción. Los títulos y la nobleza en general, no tenían mayor importancia para el distinguido científico.

Muchos cargos importantes le fueron ofrecidos, pero él declinó aceptarlos, quizás a causa de su gran depresión por la prolongada enfermedad de su esposa, quien falleció al tiempo después. La salud de Roentgen continuó buena, pero su estado depresivo limitó seriamente sus actividades científicas.

Roentgen reconoció el mérito de su descubrimiento, pero no sin antes destacar el trabajo realizado en el mismo campo, por los científicos que lo precedieron. Quizás uno de los más importantes fue Michael Faraday, quien en 1838 había producido una descarga de electricidad a través del espacio, en un tubo de vidrio parcialmente evacuado. Las primeras observaciones de Faraday orientaron el trabajo de Wilhem Hittorf en 1869, quien descubrió los rayos catódicos y describió el paso de la electricidad producida por una corriente de inducción en un tubo al vacío.

Poco tiempo después, en Inglaterra, William Crookes logró fabricar tubos con mejores vacíos, encontrando que los rayos catódicos son corrientes de partículas cargadas negativamente, que pueden ser desviadas por un campo electromagnético y

producen calor al chocar contra la materia" Probablemente Crookes produjo rayos X durante todos sus experimentos con rayos catódicos, sin llegar a detectar su existencia.

Roentgen mantuvo siempre un gran cariño por sus estudiantes, quienes recíprocamente demostraban su afecto al maestro. Su gran respeto por el género humano y la extraordinaria clase de persona que él fue, quedaron de manifiesto una vez más con motivo de un desfile de antorchas con que sus estudiantes lo honraron en la Universidad de Würzburg: "Quisiera agregar a mis agradecimientos la esperanza de que, como estudiantes de esta Universidad, ustedes sean especialmente elegidos para tomar parte en los grandes progresos del conocimiento humano, que está constantemente avanzando"

Durante la primera guerra mundial, Roentgen fue un gran colaborador del gobierno alemán. La derrota de Alemania y la inflación de la postguerra lo empobrecieron enormemente. En una carta que escribió a su prima Louise, quien vivía en Estados Unidos, le comentaba: "Dado que soy un modesto empleado de gobierno, recibo una pensión que sólo se reajusta algo con el alza del costo de la vida, lo que me permite vivir en forma moderada,

PHILIPS

SI UD. NECESITA

Un ESPECTROMETRO DE EMISION para analizar trazas de elementos en pocos segundos.

O

Un ESPECTROMETRO DE RAYOS X DE LONGITUD DE ONDA DISPERSIVA para determinar la composición de una aleación con gran exactitud.

O bien

Un ESPECTROMETRO DE RAYOS X DE ENERGIA DISPERSIVA para buscar qué elementos están presentes en una muestra.

O tal vez

Un DIFRACTOMETRO DE RAYOS X para estudiar estructuras de materiales.

PHILIPS puede ayudarle a elegir el equipo más adecuado y económico para resolver sus problemas analíticos porque:

PHILIPS cuenta con un amplio programa analítico que incluye cada uno de los instrumentos mencionados en versiones desde operación manual hasta completamente automatizadas y computarizadas.

PHILIPS tiene conocimientos y experiencia mundial en cada una de las diferentes técnicas.

PHILIPS es su socio en el campo de la Ciencia y la Industria.

Mayores informaciones sobre equipos de su interés pueden obtenerse directamente de:

PHILIPS CHILENA S.A.
DIVISION PROFESIONAL
DEPARTAMENTO CIENCIA E INDUSTRIA
Santa María 0760 Fono 372667 Santiago.

pero con mayor frecuencia debo practicar más economías"

Pasó sus últimos años leyendo documentos previos y repasando sus memorias científicas, hasta que murió el 10 de febrero de 1923. "Toda la nación alemana llora en la tumba de su ilustre hijo", declaró el Ministro del Interior durante las exequias del famoso hombre de ciencia.

La diáfana claridad con que Roentgen iluminó el mundo científico, perdurará por largo tiempo en la ruta de los grandes aciertos de la ciencia.

UNA APLICACION SOBRESALIENTE: LA DIFRACCION DE RAYOS X

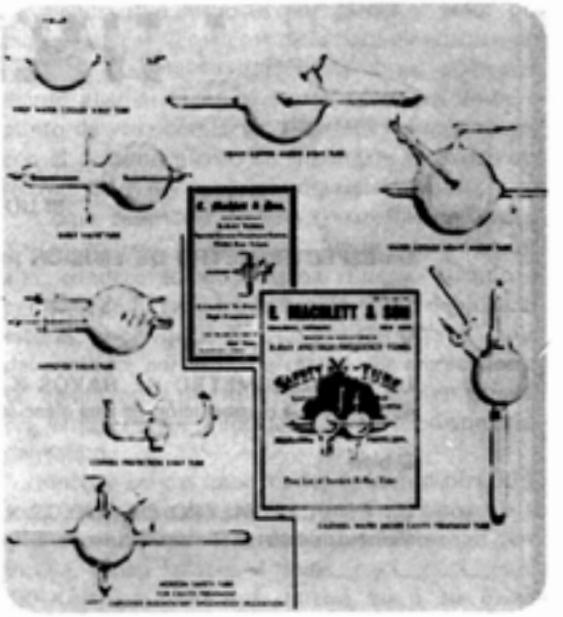
De las múltiples y variadas aplicaciones que los rayos X prestan a la ciencia y la tecnología contemporánea, la difracción de rayos X como poderosa herramienta de la cristalografía, es probablemente una de las más apasionantes.

La cristalografía es una amplia disciplina científica. Desde un punto de vista general, concierne la investigación de la estructura, es decir, la arquitectura o arreglos atómicos de los diferentes estados de la materia, particularmente las técnicas de difracción y los métodos analíticos que se aplican en la interpretación de los diagramas de difracción. En un sentido más profundo, sin embargo, las técnicas y resultados de la cristalografía se conjugan con aquellos de varias otras disciplinas científicas, derivando en desarrollos significativos y a veces dramáticos en esos campos.

El amplio rango de aplicación de la cristalografía dificulta, en cierto modo, una caracterización rigurosa de sus fronteras. Dado que involucra la estructura de la materia y sus implicaciones físicas, químicas y biológicas, substancias con los diferentes estados de orden atómico caen en esos entornos. Ellos incluyen materiales cristalinos ordenados y desordenados, agregados policristalinos, fibras, sólidos amorfos, películas, membranas, líquidos y gases.

El desarrollo de la difracción de rayos X como herramienta fundamental de la cristalografía, comenzó muy pronto después del descubrimiento de Roentgen, y se vio matizado por varios experimentos relevantes efectuados por los pioneros en el campo.

En 1896, los investigadores A. Winkelmann y R. Straubel, realizando experimentos sobre el efecto de los rayos X en un cristal de fluorita, descubrieron que el cristal reemitía un nuevo tipo de radiación X, más débil que la radiación incidente. El descubrimiento fue más tarde ampliado por el físico C. G. Barkla, quien en 1909 detectó la presencia de fuertes componentes homogéneas en los rayos X emitidos por sus tubos, al ser aquellos aperados bajo condiciones adecuadas de voltaje. Barkla encontró que esas emisiones eran características de los metales que componían el ánodo de los tubos, y sugirió que los grupos de líneas de emisión fuesen designados como espectros K y L, estableciendo así las primeras ideas que más tarde serían la base de una valiosa técnica de análisis químico, que hoy en día se conoce como espectrometría o fluorescencia de rayos X. Posteriormente, esos espectros se relacionaron con los electrones K y L de los átomos del ánodo, de acuerdo con el nuevo modelo atómico postulado por Niels Bohr. Por su contribución al estudio de las propiedades y características de los rayos X, Barkla recibió el Premio Nobel en 1917



Primeros tubos comerciales de rayos X, fabricados en 1900 por E. Machlett e hijo.

En la Universidad de München, varios hombres de ciencia investigaban también los fenómenos relacionados con los rayos X. El instituto de investigación en física experimental, dirigido por W. C. Roentgen, desde el año 1900, contaba entre sus miembros con el famoso mineralogista y cristalógrafo P. Groth, quien realizó la primera clasificación de los minerales de acuerdo con su composición química y su ocurrencia geográfica, sentando posteriormente las bases que relacionaron la cristalografía con la química, en su obra monumental "Chemische Kristallographie" El grupo estaba integrado también por A. Sommerfeld y P. Debye, a los cuales se unió en 1909 Max Laue, proveniente de la Universidad de Berlín, donde realizó su tesis de doctorado bajo la supervisión de

Max Planck. En enero de 1912, uno de los estudiantes graduados de Sommerfeld, P. P. Ewald, discutió con Laue las conclusiones de su trabajo sobre la propagación de la luz a través de los cristales. Laue, sin embargo, se mostró más interesado en el hecho de que Ewald usó como modelo de cristal, pequeños osciladores espaciados periódicamente en tres dimensiones, con aproximadamente 10^{-8} cm entre uno y otro. Laue ya sabía de experimentos previos, que la longitud de onda de los rayos X era del orden de 10^{-8} cm. Concibió entonces la genial idea de que un cristal podría servir como una red ideal para difractar los rayos X, pero encontró numerosas objeciones al proponérsela al profesor Sommerfeld. Afortunadamente, logró convencer al asistente de Sommerfeld, W. Friedrich, y a un estudiante graduado de Roentgen, P. Knipping, para realizar el experimento. Al cabo de algunos intentos fracasados, Friedrich y Knipping obtuvieron el diagrama de difracción de un cristal de sulfato de cobre, en la primavera de 1912. Laue aplicó sus conocimientos sobre la teoría de difracción de la luz, al problema de difracción de rayos X por una red cristalina tridimensional, y ese mismo día en el camino de regreso a casa, formuló mentalmente los conceptos principales. Laue publicó su teoría en 1912 y ganó por ello el Premio Nobel en 1914. Ewald se enteró del descubrimiento de Laue en junio de 1912, después de que había dejado München para realizar un postdoctorado en Goettingen. Al término de una conferencia en que el profesor Sommerfeld describió la contribución de Laue, Ewald concluyó que la difracción de rayos X se podría explicar con una teoría similar a la cual él trató en vano de interesar a Laue a principios de ese año. El análisis alternativo de difracción de los rayos X fue publicado por Ewald en 1913, e incluyó en su parte principal el famoso concepto de la red recíproca, extremadamente útil hoy en día para interpretar en forma sencilla y rigurosa cualquier experimento de difracción.

Paralelamente al trabajo realizado por los investigadores alemanes, en Inglaterra existía también bastante interés por el estudio de la naturaleza de los rayos X. En 1908, W. H. Bragg, profesor de física de la Universidad de Leed, efectuaba algunos experimentos sobre la ionización de gases por los rayos X. Tales experimentos lo habían convencido de la posible naturaleza corpuscular de los rayos X, debido a que el proceso de ionización parecía proceder por choques con algunos átomos del gas. Ese punto de vista fue inicialmente compartido por su hijo, W. L. Bragg, quien se encontraba finalizando sus estudios de graduados en la Universidad de Cambridge. Durante el verano de 1912, padre e hijo colaboraron en el análisis de un artículo de Laue sobre la difracción de rayos X por un cristal de esfalerita, e intentaron explicar el diagrama de difracción postulando el paso de "partículas" de rayos X a través de túneles formados por las hileras de átomos en el cristal. Más tarde, W. L. Bragg cambió su punto de vista en favor de la naturaleza ondulatoria de los rayos X, confirmando así los postulados de Laue. Durante el invierno de 1912, presentó una explicación alternativa de las observaciones de Laue, en términos de la reflexión de ondas de rayos X por planos atómicos del cristal, dando origen a la famosa ley que lleva su nombre y que es actualmente el pilar fundamental de las técnicas de difracción. En una conferencia ofrecida por Bragg en el Instituto de Física de Londres, en 1943, y publicada más tarde en "Science in Britain", recordaba: ' Quedaba por explicar por qué algunos planos atómicos del cristal de esfalerita reflejaban la radiación con mayor intensidad que otros. Pope y Barlow tenían la teoría de que los átomos en un cristal cúbico como la esfalerita estaban empaquetados no como esferas en los vértices del cubo, sino que como lo que se conoce con el nombre de empaquetamiento compacto, esto es, hay esferas también en los centros de las caras del cubo. Traté de comprobar si ello explicaba la anormalidad, y lo hizo. Resultó entonces claro que la estructura de la esfalerita era del tipo cubo cara centrada"

El trabajo de Bragg atrajo la atención de C.T.R. Wilson, del laboratorio Cavendish en Cambridge, quien sugirió al joven físico que tratara de reflejar rayos X con las caras clivadas de un cristal. El éxito del experimento permitió a W. H. Bragg construir un espectrómetro de rayos X, haciendo posible la medición cuantitativa de intensidades de rayos X, esto es, comprobar por primera vez la naturaleza de un espectro de ese tipo de radiación. El mismo instrumento fue utilizado con éxito por padre e hijo para determinar la primera estructura cristalina, que fue la del cloruro de sodio. Por sus contribuciones al estudio de arreglos atómicos en cristales, W. H. Bragg y W. L. Bragg compartieron el Premio Nobel en 1915.

A partir de los experimentos de Bragg, la difracción de rayos X y su aplicación a la cristalografía se desarrolló en forma casi vertiginosa, hasta constituir la poderosa herramienta de investigación de la estructura de la materia, que es en la época actual. Innumerables científicos han contribuido al crecimiento de esa ciencia, destacándose entre otros M. Buerger, L. Azároff, B. Warren y B. Cullity.

Los usos de la difracción en Metalurgia son también numerosos: comenzando con la cristaloquímica de metales y aleaciones, disciplina que ha sido ampliamente desarrollada con la colaboración

fundamental del cristalógrafo austríaco Erwin Parthé, la gama de aplicaciones considera el estudio de transformaciones de fases en el estado sólido, transformaciones de orden-desorden en aleaciones, texturas u orientaciones preferenciales, esfuerzos residuales, topografía de rayos X, granulometría y otros de interés. Cabe hacer notar que la Metalurgia Física, en lo concerniente a su descripción estructural, se construyó casi enteramente gracias a la cristalografía de rayos X.

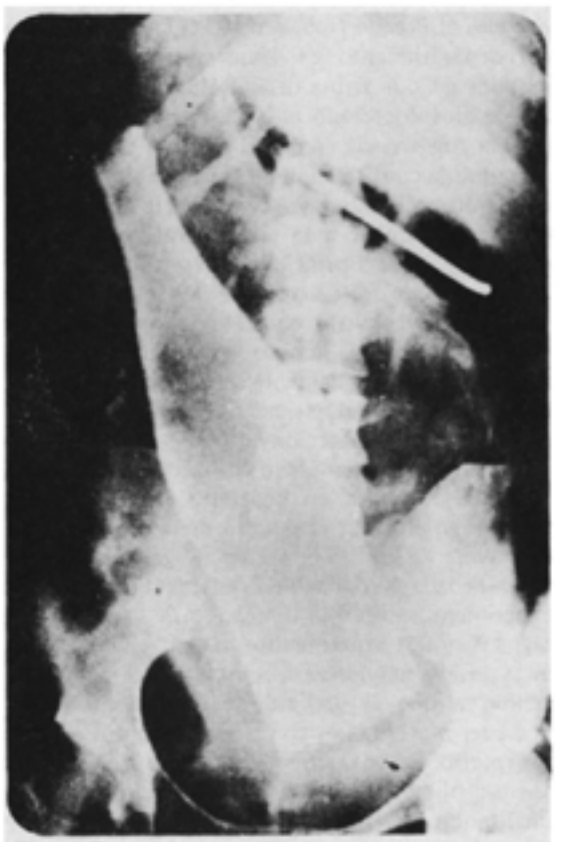
Otra de las grandes aplicaciones que se ha encontrado a la difracción de rayos X, se centra en la biología molecular. En efecto, durante los últimos 20 años, la cristalografía de rayos X ha revolucionado las ciencias biológicas. Ello se evidencia no sólo por los premios nóbeles otorgados a Watson, Crick y Wilkins por la determinación de la estructura del ADN, y a Perutz y Kendrew por la determinación de la primera estructura de una proteína, sino que también por la evolución de la disciplina que constituye la biología molecular. En 1966 había diez laboratorios en los Estados Unidos, dedicados al estudio de estructuras de proteínas. Actualmente, hay 60 laboratorios y el número de investigadores ha aumentado de 25 a más de 300.

La cristalografía de rayos X es el único método que permite la determinación de estructuras tridimensionales de macromoléculas biológicas, como proteínas, ácidos nucleicos y virus, que pueden ser inducidos a cristalizar. Hasta la fecha, se han determinado las estructuras de aproximadamente 70 proteínas. A pesar de que se trata sólo de una pequeña fracción de todas las proteínas encontradas hasta ahora, el impacto de esos descubrimientos en las ciencias de la vida, ha sido enorme. La investigación comienza a orientarse a áreas que incluyen modificación de enzimas y diseño de nuevas drogas con grandes posibilidades de aplicaciones biomédicas. No está lejos el día en que gracias a la cristalografía de rayos X, se encuentren los antídotos para enfermedades que azotan a la sociedad contemporánea, y que hasta la fecha no tienen remedio conocido.

En la investigación de los materiales, la cristalografía de rayos X ha resultado también un aporte fundamental. El estudio rudimentario de los materiales se ha practicado a través de la historia misma del hombre, como la evidencian los nombres asignados a distintos períodos de la humanidad, esto es, Edad de Piedra, Edad de Bronce y Edad de Hierro. Hasta hace poco, el campo consistía en varias áreas separadas, como metalurgia, cerámicas, polímeros y física y química del estado sólido. A partir de 1950, se hizo evidente que había bastante en común entre todas esas áreas, naciendo entonces un nuevo campo interdisciplinario que las englobaba a todas, y que se bautizó con el nombre de "Ciencia de Materiales" La cristalografía ha tenido dos influencias principales en la investigación de los materiales: proporcionó un nuevo punto de vista en el estudio de la estructura a nivel de arreglos atómicos y, como una ciencia en sí misma interdisciplinaria, derivó en una apreciación mejorada de los principios comunes a todos los materiales.

La difracción de rayos X continuará jugando un papel central en el avance del conocimiento básico de los materiales, gracias a su habilidad para determinar los arreglos estáticos y dinámicos de los átomos en la materia, y relacionar esa arquitectura atómica con las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales.

Durante la última década, los avances en el análisis de estructura cristalina por difracción de rayos X, han sido extensos y promisorios. El resultado de ello se ha traducido en la estimulación de programas de investigación dirigidos hacia horizontes más amplios. Como ha ocurrido con frecuencia en la ciencia, esa circunstancia debiera prevalecer durante los próximos años, con el consiguiente avance y optimización de las técnicas de análisis que utilizan los rayos X como herramienta fundamental. ●



Un caso extraño revelado por los rayos X.