

## Cien años de radiactividad *Joseph Rotblat*

Hace un año conmemorábamos el 100 aniversario del descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Roentgen. Ahora estamos celebrando el centenario del descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel, que fue una consecuencia del descubrimiento de los rayos X. Ambos descubrimientos fueron hechos por físicos, pero sus implicaciones se extendieron fuera del alcance del ámbito de la física hacia muchas otras áreas de las actividades humanas, y singularmente a la medicina; sin embargo, la importancia de su contribución relativa a la medicina y a otros campos difiere enormemente. Aunque la radiactividad ha encontrado una gran variedad de aplicaciones muy importantes en medicina, su entidad es modesta en comparación con los cambios fundamentales que su descubrimiento ha supuesto para nuestra comprensión de la naturaleza de la materia, desde el átomo hasta el universo. Además ha modificado profundamente nuestra disposición colectiva: ha pasado de ser un regalo para la humanidad a ser considerado su peor castigo.

Esto se refleja en la imagen que el público en general tiene de ambos descubrimientos. Pregunte a un hombre en la calle sobre los rayos X e inmediatamente los asociará con la medicina. En los países desarrollados prácticamente cada persona es diagnosticada alguna vez en su vida con un examen con rayos X. Pregúntele sobre la radiactividad y le dirá que es algo que tiene que ver con la bomba atómica y Chernobyl.

Mi charla reflexionará extensamente sobre esta valoración relativa, pero empezaré con lo que ocurrió [hace 100 años](#). El descubrimiento de Becquerel estuvo directamente conectado al de los rayos X. Henri Becquerel, quién murió cuando yo nací, estaba estudiando en París los efectos de la exposición a los rayos X sobre varios materiales fosforescentes y observó sorprendido que algunas sustancias - principalmente compuestos de uranio - emitían espontáneamente una radiación de naturaleza similar a los rayos X. Eso le proporcionó el Premio Nobel de Física. Salvo un suceso anecdótico (sufrió quemaduras después de llevar una pequeña cantidad de radio en el bolsillo de su chaleco), no parece que haya aportado mucho más a la ciencia de la aplicación práctica de la radiactividad.

El primer trabajo realmente importante en radiactividad lo realizó poco después Manya Sklodowska, más conocida como Marie Curie, por el apellido de su marido Pierre Curie, con quien se había casado pocos meses antes del descubrimiento de Becquerel. En este

punto quiero hacer una pequeña digresión: en el programa de este Congreso mi charla está incluida en la sección "Historia" y recuerden lo que se dice de los historiadores: "Dios puede hacer cualquier cosa excepto cambiar el pasado: ¡pero los historiadores sí pueden!". Yo no soy un historiador, pero en mi charla también seré algo parcial y reflejaré tanto mis puntos de vista como mi experiencia personal. Después de todo, mi propia vida ha transcurrido en buena parte durante el periodo del que nos ocupamos; he vivido un 87% del mismo. En particular, tengo que declarar un interés especial por Marie Curie.

Durante mi infancia en Varsovia vivía en la misma calle en que ella vivió 40 años antes. Realicé mi primer trabajo de investigación científica en el laboratorio del cual era directora honoraria y la conocí personalmente en 1934, poco antes de su muerte. Pero incluso un historiador imparcial admitiría que sus aportaciones a la ciencia y a la práctica de la radiactividad exceden con mucho a las de Becquerel. Ella fue quien dio al fenómeno el nombre de "radiactividad" y su nombre fue justamente adoptado para designar la unidad en la que se mide. Pero debido a un cambio en el sistema de unidades, su nombre está desapareciendo y pronto será olvidado, siendo sustituido por el becquerelio. Pero recuerden, se necesitan un montón de becquerelios para igualar a un curio. De cualquier modo y volviendo a los hechos, Marie Curie realizó casi con sus propias manos la tarea hercúlea de separar los elementos que de verdad eran los responsables de la emisión de la radiación observada por Becquerel.

Trabajando en un cobertizo en condiciones muy precarias, manipuló toneladas de pechblenda de donde separó químicamente los primeros nuevos elementos fuertemente radioactivos, el polonio y el radio. Ella y su marido Pierre desarrollaron además el instrumento con el que medir la radiactividad, basado en la ionización del aire por las radiaciones emitidas. La cantidad de ionización producida se medía con un electrómetro basado en el efecto piezoeléctrico. Éste fue el instrumento más utilizado en los primeros años; yo lo utilicé en mi primer trabajo de investigación, justo antes de que apareciese el contador de Geiger, que en esos días construíamos nosotros mismos.

Marie Curie es por supuesto recordada también por sus servicios a la medicina, en reconocimiento a las aplicaciones del radio para el tratamiento del cáncer. Ella misma, y también su hija Irene, fueron víctimas del efecto cancerígeno de la radiación. Antes de morir, completó su obra magna, el libro "Radioactivité", que resume el conocimiento del tema hasta ese momento. El libro fue traducido al polaco por un discípulo suyo y profesor mío, Ludwik Wertenstein, y se publicó justo antes de la invasión de Polonia por Alemania. Se utilizó como texto en la universidad clandestina polaca durante la ocupación nazi. Muchos de mis colegas fueron ejecutados por el crimen de enseñar ciencia, incluyendo su libro.

Sin embargo, todo el mérito de los descubrimientos fundamentales hechos en radiactividad, y que han transformado completamente nuestras ideas sobre la naturaleza de la materia, pertenecen a Ernest, posteriormente Lord Rutherford, un físico nacido en Nueva Zelanda quién realizó su investigación en la Universidad McGill, y más tarde en Manchester y Cambridge. El Laboratorio Cavendish se convirtió en el principal centro de investigación nuclear: en el período de entreguerras llegaron al mismo científicos de todas las edades procedentes de todas las partes del mundo.

Hace cien años, se pensaba todavía -una creencia que venía desde los días de Demócrito en el siglo V antes de Cristo- que el átomo era la última e indivisible partícula de la materia. El descubrimiento de la radiactividad y la comprensión de su naturaleza constituyó la puntilla para el concepto de la indivisibilidad del átomo. Sobre todo cuando se descubrió que después de la emisión de las radiaciones, la sustancia original se había transformado en otra nueva sustancia con diferentes propiedades físicas y químicas; así por ejemplo, el elemento sólido radio se transforma en un gas radón, el cual se vuelve a transformar en polonio y seguidamente en una forma de plomo. Además una de las radiaciones emitidas es el elemento ligero helio.

Enseguida se estableció que las radiaciones emitidas por una mezcla de sustancias radiactivas eran de tres tipos, que Rutherford denominó alfa, beta y gamma. Sus propiedades diferentes fueron evidenciadas en un sencillo experimento en el que las radiaciones pasaban a través de un campo magnético. Así los rayos gamma permanecían sin desviarse, lo que indicaba que era una radiación electromagnética, similar a los rayos X. La desviación de los rayos beta indicaba que llevaban una carga negativa, en efecto fueron más tarde identificados como electrones de alta velocidad. Y la ligera deflexión de las partículas alfa en la dirección opuesta mostró que eran partículas con carga positiva y bastante pesadas. La verdadera naturaleza de la partícula alfa fue establecida por Rutherford mediante un sencillo y hermoso experimento. Introdujo gas radón en un capilar con las paredes lo suficiente delgadas para permitir el paso de las partículas alfa a su través. Poco después mostró espectroscópicamente que aparecía helio en el vaso exterior al capilar y que su cantidad se incrementaba con el tiempo, produciéndose una verdadera transmutación de los elementos. Lo que los alquimistas habían estado buscando en vano durante siglos, había estado produciéndose espontáneamente en la naturaleza. Los alquimistas habían esperado obtener oro a partir de los elementos básicos, pero acompañando a las transmutaciones se encontró una propiedad mucho más preciosa que el oro: la emisión de energía en cantidades miles de veces mayores que las conocidas hasta entonces. La energía de las partículas alfa se mide en millones de voltios, en comparación con los miles de voltios en los tubos de rayos X.

Fue de nuevo Rutherford quien desveló de donde provenía toda esta energía mediante sencillos experimentos de dispersión de las partículas alfa. Colocó una lámina delgada delante de una fuente radiactiva emisora de partículas alfa y mediante un contador de centelleo observó desde diferentes ángulos el paso de las partículas alfa a través de la lámina. La mayoría pasaban sin desviarse, algunas se desviaban ciertos ángulos, y unas pocas 180 grados, emergiendo en dirección opuesta. Fue un experimento muy sencillo, pero de él Rutherford dedujo la estructura del átomo, y comenzó la ciencia de la física nuclear. El átomo es prácticamente espacio vacío, con su masa concentrada en un núcleo muy pequeño, de un tamaño ciento de miles de veces más pequeño que la dimensión de los átomos. Éste fue el descubrimiento que transformó nuestra visión del mundo. Las ideas de Rutherford fueron asumidas por el físico danés Niels Bohr, en su modelo del átomo, que consistía en un núcleo central y un número de electrones moviéndose a su alrededor, esto constituye la base de la teoría de la física atómica y la química.

Pero volviendo a la radiactividad natural la teoría de Rutherford de la transformación de los elementos hizo posible agrupar las 45 sustancias radiactivas en tres familias, las series del uranio, del actinio y del torio, que ocupan 12 lugares en la Tabla Periódica, terminando todas en formas estables del plomo. Lo que se deduce de esto es que el

mismo elemento químico puede existir en una variedad de formas, isótopos, algunos de los cuales son estables y otros radiactivos.

Este hallazgo volvió a ser de mucha importancia para la medicina, así como para numerosas áreas de aplicación, como la agricultura, la industria y las ciencias biológicas básicas. Esto surge del hecho de que el isótopo radiactivo se comporta como una forma química estable, pero la emisión de radiaciones lo marca haciendo posible seguir el curso de un elemento dado, por ejemplo en los procesos metabólicos del cuerpo.

El pionero en este campo fue el científico húngaro, George de Hevesy. Hay una anécdota sobre sus primeros experimentos, cuando él trabajaba con Rutherford en Manchester. Se alojaba en una pensión y corría el rumor entre los huéspedes sobre algunas prácticas de la patrona, según el cual ella recogía las sobras de las cenas para usarlas en otras comidas. Hevesy decidió investigar el asunto. Después de terminar el plato principal, espolvoreó los restos con una sustancia radiactiva y vio que el estofado irlandés que se sirvió unos pocos días más tarde era claramente radiactivo.

Aunque no es posible afirmar que ésta fuera la primera aplicación biológica de los isótopos radiactivos, Hevesy realizó una gran tarea, porque en esos días su campo de estudio estaba limitado a los elementos radiactivos naturales, los cuales son de muy poca importancia biológica. Las cosas cambiaron radicalmente con el descubrimiento de la radiactividad artificial por Frederic e Irene Curie en 1934.

El descubrimiento del neutrón dos años antes por James Chadwick (un alumno de Rutherford) resultó ser fundamental ya que sirvió para conocer completamente la composición de los átomos. Por un momento hizo al universo en su totalidad muy simple, todas las sustancias se componían sólo de tres partículas elementales: protones y neutrones en el núcleo y electrones fuera de él. Ésta fue una época de gran felicidad, antes de que el mundo se complicase con quarks, hadrones, leptones y el bosón de Higgs. Cada especie, denominada nucleido, estaba caracterizada por dos números, el número de protones y el número de neutrones en el núcleo.

Resultó que sólo algunas combinaciones de protones y neutrones pueden formar un núcleo estable. En el diagrama de estabilidad (número de protones frente al de neutrones en la figura) están representados todos los nucleidos encontrados en la naturaleza. Los cuadros con una "x" - principalmente en la parte superior del diagrama - son las sustancias de las tres series radiactivas. Los cuadros negros son los nucleidos estables. Hay 275 de ellos y éstos son los únicos nucleidos que existen en cualquier lugar del universo. Cualquier otra combinación de protones y neutrones, tanto por encima como por debajo de esta estrecha banda de estabilidad, es inestable, es un nucleido radiactivo que se transforma en una de las formas estables mediante la emisión de radiación.

Según las teorías predominantes, el "big bang" que aconteció hace unos quince mil millones de años, mil millones más o menos, fue el momento de la creación con una gran variedad de nucleidos que se formaron en un tiempo muy breve. La mayoría de ellos eran inestables y comenzaron a desintegrarse en los 275 nucleidos estables. Sólo los nucleidos con semiperiodos muy largos (del orden de la edad del universo) han sobrevivido y son los elementos radiactivos naturales. Entre ellos está el uranio,

observado por Becquerel, con un semiperíodo de 4500 millones de años. Todos los demás ya se han desintegrado.

Pero hoy día somos capaces de reproducir algunos de los productos originales del "big bang": lo podemos hacer mediante el bombardeo de núcleos estables o mediante el proceso de la fisión. En la actualidad conocemos alrededor de 3.600 nucleidos diferentes, de los que sólo el 7% son estables. Para cada elemento químico podemos producir al menos uno, y generalmente un gran número de formas radiactivas. Sin duda podemos ir más allá del elemento más pesado, el uranio, que ocupa el lugar 92 en la Tabla Periódica. La moderna Tabla Periódica va más lejos, llegando hasta el número 112. Estos elementos transuránicos son denominados en su mayoría con los nombres de los científicos que fueron pioneros en la radiactividad y la física nuclear, entre ellos el curio, el rutherfordio, el nielsborio, el fermio, y el meitnerio.

Cuando el fenómeno de la radiactividad fue descubierto hace 100 años, se consideró que era un comportamiento excepcional de unos pocos elementos, una rareza de la naturaleza. Ahora sabemos que es la forma más frecuente de la materia, y que los elementos estables son la excepción. Una observación aparentemente curiosa - aunque insignificante - de la emisión espontánea de radiación de unos pocos elementos, ha llevado a comprender la composición de todos los átomos y al entendimiento - aún incompleto - del origen del universo.

Pero además de aportar un entendimiento de los procesos fundamentales en la naturaleza; aparte de la multitud de aplicaciones prácticas en muchos aspectos de la vida, el descubrimiento de la radiactividad ha traído también otra consecuencia más aterradora, la amenaza a la continuidad de la existencia de la especie humana. Este aspecto marca la segunda mitad del siglo, la era nuclear que comenzó con la bomba sobre Hiroshima.

Ya mencioné antes que las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas transportan una enorme energía. Así se evidenció por primera vez que en el núcleo del átomo se almacena una gran cantidad de energía. A pesar de que el origen de esta energía fue pronto explicado por Einstein con la equivalencia entre masa y energía  $E = mc^2$ , no fue posible su uso para fines prácticos. Incluso bastantes años después, en 1933 el gran Rutherford afirmaba en un discurso presidencial a la British Association que "...cualquiera que busque una fuente de energía en la transformación de los átomos, estará diciendo tonterías". Pero inmediatamente después los hechos comenzaron a refutar esta opinión.

Todo comenzó en 1934 con Enrico Fermi y su equipo en Roma, demostrando que los isótopos radiactivos pueden ser producidos mediante bombardeo con neutrones. Más tarde en ese año, el científico húngaro Leo Szilard, en esa época en Londres, concibió la idea de que algunos de los neutrones utilizados como proyectil pudieran a su vez ser emitidos, abriendo así el camino a una reacción en cadena autosostenida; en esa línea propuso un proyecto de investigación para la búsqueda sistemática de un elemento en el que esto ocurriera. Pero las autoridades en Inglaterra consideraron que el coste de este estudio era demasiado alto para el riesgo que suponía una idea tan extravagante. Más tarde Szilard declaró que él debería haber recibido el Premio Nobel de la Paz por NO proseguir con su idea, lo que hubiese llevado a la bomba atómica mucho antes.

El verdadero gran adelanto vino unos pocos años más tarde, con el descubrimiento de la fisión del uranio. Fue a partir del trabajo de los científicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassman, junto con Lise Meitner, que observaron que algunos de los supuestos elementos transuránicos se comportaban químicamente como muchos elementos ligeros, tales como el bario; sin embargo no pudieron explicar sus hallazgos. Fue Otto Robert Frisch, quien en una publicación conjunta con su tía Lise Meitner, puso de manifiesto que el proceso era una nueva reacción nuclear, por la que el núcleo de uranio bombardeado con neutrones se rompía en dos fragmentos, por ejemplo en kriptón y bario. Le dió el nombre de fisión, un término que tomó de la biología. Aunque el Premio Nobel por la fisión fue para Otto Hahn, y aunque más tarde Lise Meitner recibió el premio Fermi y la denominación de un elemento, quien realmente descubrió la fisión fue Robert Frisch, pero él nunca tuvo un reconocimiento expreso por ello. Casi inmediatamente después de que el trabajo de Frisch y Meitner fuera publicado en febrero de 1939 en "Nature", científicos de varios laboratorios, incluso yo mismo, descubrieron de forma independiente que varios neutrones son emitidos en cada fisión. Ésto abrió el camino a la reacción en cadena: algunos de estos neutrones podían provocar posteriores fisiones con la liberación de más neutrones y así sucesivamente; se produciría un incremento exponencial liberándose una gigantesca cantidad de energía; por primera vez era posible tener acceso a la energía almacenada en el núcleo. Actualmente se emplea esta energía en centenares de reactores en todo el mundo para generar electricidad.

Sin embargo de esta observación se extraía otra idea: si toda esta enorme cantidad de energía se liberaba en un breve lapso de tiempo, y los cálculos mostraban que eso podía ocurrir en menos de un microsegundo, el resultado podía ser una fortísima explosión, en otras palabras la bomba atómica.

Para los científicos que como yo mismo estábamos educados en los principios humanistas, la idea de hacer un arma de destrucción masiva era detestable, pero nos preocupaba que los científicos alemanes pudieran construir la bomba y que esto permitiera a Hitler conquistar el mundo. Tanto que desarrollamos un razonamiento para justificar nuestros actos: necesitamos la bomba no para usarla, sino para prevenir que Hitler la use por la amenaza de represalias; el concepto clásico de disuasión nuclear.

A principios de 1940 Frisch y Rudolph Peierls, trabajando en Birmingham, hicieron los cálculos que mostraban que el tamaño de la bomba podría ser suficientemente pequeño. Ésto condujo a la constitución en el Reino Unido del Comité Maud, y más tarde a crear en los Estados Unidos el Proyecto Manhattan y finalmente en agosto de 1945, al lanzamiento de la bomba atómica sobre Hiroshima y Nagasaki.

Aparte de su enorme potencia destructora, la bomba de fisión genera también gigantescas cantidades de productos de fisión altamente radiactivos que quedan en suspensión en la atmósfera. Como ya se ha mencionado, esta radiactividad puede producir efectos perjudiciales a largo plazo como son la inducción de leucemia y otros cánceres. Este aspecto se convirtió en la principal preocupación, después de cada prueba de grandes bombas, incluidas las bombas de hidrógeno, durante la carrera de armas nucleares entre los Estados Unidos y la Unión Soviética.

Sin embargo una amenaza mucho mayor, inadvertida inicialmente, se avecinaba en el horizonte: la amenaza a la continuidad de la existencia de los seres humanos. La principal

característica de la era nuclear es que por primera vez en la historia es posible para el ser humano destruir su propia especie, y conseguirlo de una sola vez. Incluso nosotros, los científicos que hicimos la bomba no advertimos esta eventualidad, sencillamente porque sabíamos que ésto requeriría la detonación de un grandísimo número de bombas de hidrógeno, quizá cien mil de ellas, e incluso en nuestros más pesimistas escenarios no imaginábamos que la sociedad humana pudiera ser tan estúpida como para construir ese número, porque no podíamos encontrarle sentido. Pero la sociedad humana fue así de estúpida. En unas pocas décadas fueron fabricadas y listas para su uso un número semejante de cabezas nucleares. Hemos evitado la peor de las catástrofes más por buena suerte que por la prudencia de los gobernantes; con el final de la guerra fría el peligro es mucho menor, pero la amenaza siempre permanecerá.

La observación puramente científica y en apariencia inofensiva realizada hace 100 años por Becquerel, ha conducido a consecuencias inimaginables: un gran beneficio para todos nosotros, una nueva fuente de energía, una revolución en la teoría y práctica de la medicina, muchas otras aplicaciones beneficiosas, pero también condujo al desarrollo de medios de destrucción de nuestra civilización y una amenaza para la existencia de la humanidad misma. Ésto supone una enorme responsabilidad para todos nosotros. Es el trabajo de la profesión médica salvar vidas, pero como seres humanos debería ser su trabajo ayudar a salvar a toda la humanidad. La humanidad nunca estará absolutamente segura después del descubrimiento de la energía nuclear y las armas nucleares, a menos que nos administremos para evitar los conflictos militares que puedan conducirnos a un holocausto nuclear. La guerra debe dejar de ser una institución aceptable. La creación de un mundo sin guerras debe ser la lección del descubrimiento de la radiactividad hace 100 años.

**(Conferencia presentada en el Congreso RADIOLOGY'96 publicada en ISRR News Letter, Vol 32, no.2, 1996 y traducida con permiso del autor)**

---

Joseph Rotblat nació en Varsovia en 1908, estudió Física en su Universidad licenciándose en 1932 y doctorándose en 1938. Se trasladó a la Universidad de Liverpool en 1939 para continuar sus trabajos de investigación en Física Nuclear. Formó parte del grupo de científicos británicos que se integraron en el proyecto Manhattan durante la II Guerra Mundial. Desde 1945 hasta 1949 fue director de investigación en física nuclear en la Universidad de Liverpool. Por motivos de conciencia en contra de la carrera de armas nucleares decidió cambiar su actividad hacia la Física Médica. Ha sido desde 1950 hasta 1976 profesor de Física en el Hospital de St. Batholomew de la Universidad de Londres, con trabajos pioneros en física de la radiación, en radioterapia con acelerador lineal, radiología y radiobiología. Ha sido durante doce años editor de la revista *Physics in Medicine and Biology*, presidente de la *Hospital Physics Association*, y del *British Institute of Radiology*. Su otra gran actividad que ha marcado profundamente su biografía, ha sido la desarrollada desde 1957 hasta 1973, como Secretario General de las Conferencias Pugwash, movimiento internacional que ha venido actuando sin descanso con el fin de acercar, durante la guerra fría, a los principales científicos de occidente y del bloque del Este, para crear una conciencia que ayudase a frenar la carrera de armas nucleares. Actualmente es el presidente de dicho movimiento y en 1995 recibió el Premio Nóbel de la Paz en reconocimiento a su trabajo en ese campo. Además, en 1997 fue galardonado con el Premio "Por Una Distinguida Vida Como Líder por la Paz" que otorga la Nuclear Age Peace Foundation.