

# EL PRIMER REACTOR NUCLEAR, LA PRODUCCION DE PLUTONIO Y SU EXTRACCION POR METODOS QUIMICOS

Por Glenn T. Seaborg

PRESIDENTE DE LA COMISION DE ENERGIA ATOMICA  
DE LOS ESTADOS UNIDOS

Este número especial del Boletín del Organismo está dedicado a conmemorar el vigésimo aniversario de la entrada en servicio del primer reactor nuclear, hecho que tuvo lugar el 2 de diciembre de 1942 en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago. Aunque por lo general se considera que ese experimento señaló el comienzo de la Era Atómica, lo cierto es que en aquel momento perseguía un solo objetivo: poner de manifiesto la posibilidad de producir en cantidad un nuevo elemento -el plutonio- mediante una reacción nuclear en cadena alimentada con uranio natural.

Una vez demostrada la posibilidad de construir un reactor nuclear capaz de provocar esa reacción, quedaban aún dos problemas por resolver. Uno era el de la construcción propiamente dicha de un reactor que funcionase con uranio natural y de una potencia suficientemente elevada para poder producir plutonio en la cantidad necesaria dentro del breve plazo de que se disponía. El otro consistía en encontrar, también dentro del breve plazo fijado, un procedimiento químico para separar ese plutonio del uranio y de las enormes cantidades de sustancias radiactivas que se producían durante el proceso de fisión.

Estos dos difíciles problemas constituyeron el objeto del llamado American Plutonium Project. Sus soluciones no guardaban una relación muy estrecha y, por tanto, los correspondientes programas de trabajo se confiaron a investigadores especializados en esferas distintas: la física y la química.

En el presente artículo sólo nos ocuparemos de la forma en que se resolvió el segundo problema, esto es, de los procedimientos químicos que se idearon para la separación y purificación del plutonio. Afortunadamente, cuando se emprendió esta labor se contaba ya con un considerable caudal de conocimientos gracias a las investigaciones químicas realizadas sobre dicho elemento.

El plutonio había sido descubierto dos años antes, aproximadamente, y sus propiedades químicas habían sido ya objeto de muchas investigaciones. Su descubrimiento tuvo lugar en una serie de experimentos realizados entre diciembre de 1940 y enero y febrero de 1941, como consecuencia de la producción y de la identificación química del isótopo de número de masa 238 resultante del bombardeo del uranio con deutero-



Glenn T. Seaborg

nes en el ciclotrón de 60 pulgadas (1,52 m) de la Universidad de California (Berkeley). El plutonio-239, isótopo fisionable del plutonio, cuya producción constituía el objetivo del mencionado American Plutonium Project, fue descubierto a principios de 1941 al ser sometido uranio natural a un bombardeo con un intenso flujo neutrónico obtenido con ayuda del mismo ciclotrón de 60 pulgadas. La posibilidad de fisiónarlo con neutrones lentos quedó demostrada por vez primera el 28 de marzo de 1941; para ello se utilizaron neutrones obtenidos con ayuda del ciclotrón de 37 pulgadas (0,94 m) instalado también en el Laboratorio de Radiaciones de la Universidad de California. Así quedó comprobado el gran valor de este isótopo para la liberación de energía nuclear.

Las propiedades químicas del plutonio siguieron estudiándose durante un año en la citada Universidad

por el método de los indicadores, utilizándose principalmente el plutonio-238. Con esos experimentos se comprobó que el plutonio se presenta por lo menos en dos estados de oxidación, de los cuales el inferior tiene propiedades químicas muy parecidas a las de los iones de las tierras raras, mientras que el superior las tiene semejantes a las del ion uranilo. Se comprobó, además, que el estado de mayor oxidación puede obtenerse tratando el plutonio menos oxidado con agentes oxidantes tales como iones persulfato y argéntico, o con iones dicromato, permanganato o periodato, y que ese estado de mayor oxidación puede reducirse al inferior empleando agentes reductores como el anhídrido sulfuroso o el ion bromuro. También se demostró que los fluoruros de las tierras raras son portadores del plutonio en su estado inferior de oxidación, pero que el plutonio más oxidado es soluble en presencia de dichos fluoruros. Partiendo de estos experimentos se concibió el principio del ciclo de oxidación-reducción, principio que sirvió de base para los procesos químicos que más adelante se desarrollaron dentro del marco del Plutonium Project.

Cuando a principios de 1942 se reunieron en el Laboratorio de Metalurgia científicos especializados en diversas ramas y se encargó a los químicos e ingenieros químicos que ideasen un procedimiento de separación del plutonio por medios químicos, la labor inicial realizada en Berkeley sirvió de base para sus trabajos. Entre los procedimientos de separación que se estudiaron durante esos primeros meses en el Laboratorio de Metalurgia figuraban los de precipitación, extracción mediante disolventes, volatilización, adsorción-elución y los procedimientos pirometalúrgicos y piroquímicos. En realidad, este programa inicial emprendido en 1942 abarcó todos los procedimientos químicos actualmente empleados en las instalaciones de elaboración de plutonio y todos los que se están investigando aún con ese mismo fin. Antes de que terminase el año se decidió recurrir a un procedimiento de precipitación, por ser el que, pese a sus limitaciones, parecía ofrecer mayores posibilidades de éxito dentro del breve plazo disponible, aunque aparentemente no ofrecía garantías de máximo rendimiento ni permitía recuperar el uranio y utilizarlo de nuevo.

El problema que había que resolver consistía en encontrar un procedimiento eficaz que permitiese separar con un grado de pureza elevado el plutonio presente en muchas toneladas de uranio con una concentración de 250 partes por millón como máximo. Dada esta baja concentración, no era posible precipitar los compuestos de plutonio; por ello, todo proceso de separación por precipitación había de basarse en fenómenos de coprecipitación, es decir, en el empleo de los llamados "portadores" para el plutonio. Era necesario, además, separar las sustancias radiactivas producidas en el uranio al mismo tiempo que el plutonio (como consecuencia de la fisión del uranio-235) de modo que, al finalizar el proceso quedase menos

de una de las  $10^7$  partes que originariamente acompañaban al plutonio. Ello era necesario para poder manipular sin riesgos el plutonio, ya que sin una separación previa de los productos de fisión, el plutonio obtenido de cada tonelada de uranio hubiera presentado una actividad gamma superior a  $10^5$  curies. El proceso de separación de dichos productos es lo que se llama "descontaminación". Una característica especial de este proceso es la necesidad de separar completamente del plutonio una gran diversidad de elementos, separación que se realiza por manipulación a distancia utilizando blindajes de gran espesor a fin de proteger al personal de los riesgos derivados de las radiaciones.

Aunque se estimaba que el aprovechamiento de los dos estados de oxidación del plutonio descubiertos durante los primeros trabajos realizados en la Universidad de California sería la base del proceso de separación, no se habían resuelto aún algunos extremos, por ejemplo, cuáles serían los portadores y los agentes oxidantes y reductores más adecuados. El hecho de que el fosfato de bismuto arrastre cuantitativamente el plutonio (IV) contenido en una solución ácida -fenómeno inesperado que se descubrió en diciembre de 1942- unido al hecho de que, como se esperaba, no es portador del plutonio (VI) constituyó la clave del proceso. Este método, denominado procedimiento de separación por fosfato de bismuto se desarrolló de la siguiente forma: se disolvió en ácido nítrico uranio irradiado por neutrones y, después de añadir ácido sulfúrico para evitar la precipitación del uranio, se coprecipitó el plutonio (IV) con fosfato de bismuto. Este precipitado se disolvió en ácido nítrico, el plutonio (IV) se oxidó a plutonio (VI) y se formó como subproducto un precipitado de fosfato de bismuto a cuya separación se procedió, quedando el plutonio (VI) en la solución. Después de reducir el plutonio (VI) a plutonio (IV), se volvió a coprecipitar este último con fosfato de bismuto y se repitió todo el ciclo de "descontaminación". Luego se sustituyó el portador por fluoruro de lantano y se realizó un ciclo análogo de oxidación-reducción para lograr una mayor descontaminación y concentración. Llegada esta etapa, se consiguió el aislamiento final sin empleo de compuestos portadores provocando la precipitación del peróxido de plutonio de una solución ácida.

El procedimiento de separación por fosfato de bismuto se perfeccionó en un plazo extraordinariamente breve. El plutonio fue descubierto en diciembre de 1940; en agosto de 1942 se consiguió aislar por vez primera un compuesto de ese elemento. Las propiedades del fosfato de bismuto como portador del plutonio se descubrieron en diciembre de 1942 y el procedimiento de separación por fosfato de bismuto empezó a utilizarse con éxito en diciembre de 1943 en la planta piloto de los Laboratorios Clinton (Tennessee). Es decir, que en menos de un año, y antes de que la cantidad total de plutonio producido mediante bombardeos en ciclotrón hubiese llegado a dos miligramos,

la labor de perfeccionamiento de este método se hallaba casi ultimada. En diciembre de 1944 entraron en servicio las grandes plantas de tratamiento químico de Hanford (Estado de Washington), de modo que, en total, sólo transcurrieron cuatro años entre el descubrimiento del plutonio y el momento en que se le aisló por vez primera en cantidad. Ello exigió no sólo enormes recursos financieros, una gran competencia técnica y química, una planificación y una organización cuidadosas y la fijación de un alto grado de prioridad para la obtención de materiales, mano de obra y medios de construcción, sino también mucha inventiva y buena suerte.

Aunque el esquema de un proceso de separación por medios químicos podía establecerse mediante investigaciones en pequeña escala empleando indicadores radiactivos, el proceso no podía quedar definido con exactitud hasta que fuera posible estudiarlo con las concentraciones reales de plutonio que se presentan en las plantas de separación en gran escala. Este experimento fue especialmente necesario dados los escasos conocimientos que se tenían sobre la forma en que el fosfato de bismuto actuaba como portador del plutonio (IV) y el escepticismo que muchos investigadores abrigaban acerca de la posibilidad de que ese "arrastre" pudiese observarse con las concentraciones de plutonio que se presentasen en la planta de Hanford. Ese experimento, que había de efectuarse lo antes posible una vez ideado el procedimiento de separación por fosfato de bismuto, se llevó a cabo en el Laboratorio de Metalurgia en los primeros meses de 1943, después de haberse logrado aislar el plutonio el otoño anterior. El experimento se realizó con éxito pese a que sólo se disponía de cantidades de plutonio del orden del microgramo, trabajando en la llamada escala ultramicroquímica. El plutonio-239, en cantidades del orden del microgramo, se obtuvo mediante la irradiación neutrónica, en ciclotrones, de enormes cantidades de uranio.

El primer aislamiento del plutonio en el Laboratorio de Metalurgia fue precedido por este ensayo ultramicroquímico del procedimiento de separación por fosfato de bismuto. El primer compuesto químico de plutonio, libre de portadores y de toda materia extraña, se preparó el 18 de agosto de 1942. Esta es la fecha histórica en que el hombre pudo comprobar por primera vez la existencia del plutonio y, en realidad, la de un isótopo obtenido sintéticamente. El 10 de septiembre de este mismo año se pudo pesar por primera vez un compuesto puro de plutonio (2,77 microgramos de  $\text{PuO}_2$ ). Así, pues, conmemoramos también el vigésimo aniversario del primer aislamiento del elemento plutonio en cantidades ponderables.

El procedimiento de separación por fosfato de bismuto continuó empleándose en los Hanford Engineer Works durante cierto número de años y constituyó, indudablemente, un verdadero hito en la historia de los métodos de investigación en radioquímica y ultramicroquímica. Más adelante, fue reemplazado por los procedimientos de extracción mediante disolventes.

No es posible, dentro de los límites de este breve artículo, describir el papel que el plutonio puede desempeñar en tiempo de paz en la esfera de la producción de energía nucleoelectrónica y como fuente de energía para otras aplicaciones especiales. Las perspectivas que ofrece son muy brillantes y su utilización puede llegar a ser sumamente amplia en esas esferas. Tampoco cabe describir aquí el descubrimiento de otros elementos transuránicos y los primeros trabajos realizados sobre ellos, ni la relación que existe entre dichos trabajos y los llevados a cabo sobre el plutonio. Todos esos elementos están estrechamente emparentados con el plutonio y la descripción de esa relación ofrecería también gran interés.