

# INICIACION DE LA REACCION EN CADENA

## LA BUSQUEDA DE MATERIALES PUROS

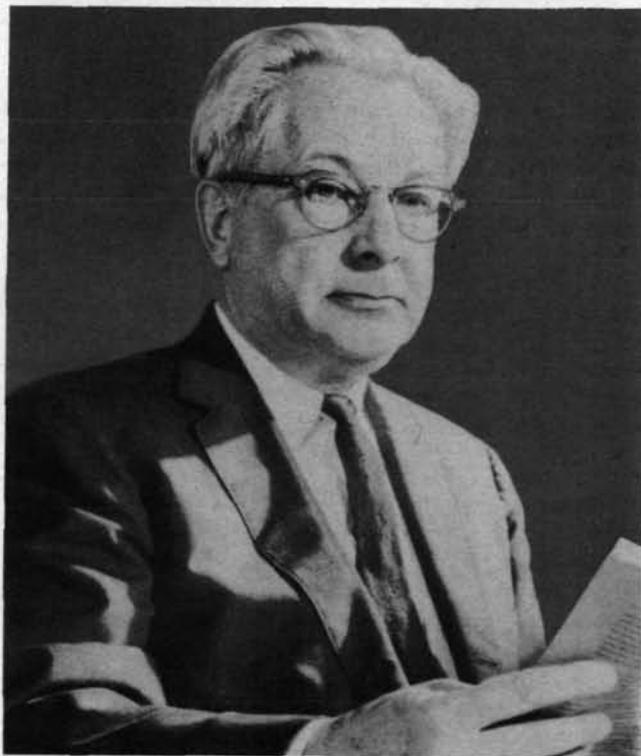
Por Samuel K. Allison

INSTITUTO ENRICO FERMI DE ESTUDIOS NUCLEARES  
UNIVERSIDAD DE CHICAGO

Durante los últimos 20 años se han publicado muchos relatos de los acontecimientos que condujeron a la primera reacción en cadena. El primero de ellos fue el famoso Informe Smyth, publicado en 1945, y posteriormente aparecieron los libros "Atomic Quest" del profesor A.H. Compton, y "Now It Can be Told" del General Groves. Se ha publicado también "The New World" de R.C. Hewlett y O.E. Anderson Jr., escrito bajo los auspicios del Comité Consultivo Histórico de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. Es una obra exhaustiva y erudita, redactada por historiadores competentes que han consultado millares de documentos. Frente a estos relatos cuidadosamente preparados, sería vana tentativa dar en un breve artículo como éste un resumen con pretensiones de erudición.

Como es bien sabido, la primera reacción en cadena automantenida tuvo lugar, rodeada del sigilo propio de los tiempos de guerra, en un conjunto formado por grafito, uranio metálico y óxido de uranio. La construcción de la "pila" formaba parte del programa del denominado Proyecto Metalúrgico, que terminó siendo patrocinado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Para tal objeto se había reunido un grupo de físicos eminentes, entre ellos Enrico Fermi, al que se proporcionó ayuda financiera casi ilimitada. Las líneas que siguen no constituyen en modo alguno una reseña minuciosa de las actividades del grupo anteriores al 2 de diciembre de 1942; son, por el contrario, observaciones ocasionales de uno de los participantes, entre las que figuran algunos detalles anecdóticos que, según espero, añadirán cierto interés personal a la narración escueta de los hechos.

Mi primera misión importante en la ejecución de dicho programa consistió en repetir, con ligeras variantes, parte del trabajo realizado en Columbia por Fermi y su grupo. Habíamos proyectado utilizar el viejo ciclotrón de Chicago como fuente de neutrones, y estudiar la difusión de éstos en el grafito, con y sin reticulado de uranio en el interior del mismo. Personas de mayor experiencia que nosotros sabían perfectamente que con un ciclotrón construido en 1937, como era el nuestro, casi todo el tiempo se emplearía en reparaciones y poco o ninguno en medidas de difusión. Un tanto inesperadamente y, por supuesto, sin ninguna insistencia por mi parte, nos enviaron desde Washington un gramo de radio en forma de fuente mixta de neutrones. Con ello el ciclotrón se pudo dedicar a otros proyectos.



Samuel K. Allison (foto Central Scientific Company, Chicago, y Argonne National Laboratory)

Hice varios viajes a Nueva York para mantener contacto con el grupo de Fermi, que había montado y ensayado una "pila exponencial" subcrítica, alimentada con polvo de óxido de uranio encerrado en cajas de aluminio apiladas en una matriz de grafito. El factor "k" de reproducción de neutrones, que para lograr el éxito debía ser superior a la unidad, era de 0,88. Aunque Fermi no consideró esto muy alentador, siguió adelante con los mismos materiales pero introduciendo ciertos perfeccionamientos. En particular no estaba satisfecho con la calidad del óxido, y los acontecimientos posteriores pusieron de manifiesto lo fundado de sus dudas. Además, se estimaba que sería más práctico comprimir el polvo de óxido de uranio hasta obtener un producto de alta densidad, y Anderson y Zinn estaban buscando una prensa para este propósito. Comprimiendo el material para formar briquetas se podría prescindir de las cajas, que absorbían parte de los preciosos neutrones. Las ventajas de las briquetas de polvo comprimido eran tan evidentes que decidí utilizar este procedimiento para la primera pila de Chicago.

El polvo de óxido de uranio utilizado en Columbia y Chicago procedía de pechblendas canadienses y era esencialmente el residuo de un proceso de separación en el que sobre todo importaba la recuperación del radio. Fermi pidió a varios químicos de Columbia que lo analizaran; la lista de impurezas era tan extensa que parecía una reproducción casi perfecta del sistema periódico. No obstante, el óxido enviado inicialmente a Columbia poseía una excelente propiedad: se podía comprimir admirablemente en primorosas briquetas estables. En Chicago, al trabajar con una remesa de óxido canadiense enviada un año más tarde, las operaciones de compresión se complicaron. Las briquetas eran mucho menos estables que las de Columbia, y a menudo se rompían con sólo tocarlas. Resultaron tan delicadas que hubo que recurrir de nuevo a colocarlas en cajas de aluminio de chapa fina ensambladas con cinta adhesiva, producto relativamente nuevo en aquel tiempo. Las dificultades que suscitaron en Chicago las operaciones de prensado dieron lugar a algunas observaciones jocosas, aunque poco halagadoras, de los científicos de Columbia; sin embargo, resultaron inútiles todos los esfuerzos desplegados para hallar las causas por comparación de los procedimientos de prensado.

En cierta ocasión, cuando se hallaban casi terminadas las operaciones de prensado del óxido en Chicago, me detuve en Princeton en uno de mis viajes, y pronto hube de hacer frente a un vigoroso ataque de Wigner y Creutz. Wigner sostenía que la proporción de grafito-uranio utilizada por Fermi en Columbia difería mucho de la óptima y, en particular, que las briquetas de óxido que empleaba Fermi eran demasiado grandes. Yo llevaba conmigo una de las briquetas hechas en Chicago y cuando se la enseñé Wigner afirmó que era demasiado grande y que debía cortarse en dos trozos. Empecé a contar la conmovedora historia de las dificultades planteadas en Chicago por las operaciones de compresión; expliqué cómo los bloques apenas poseían el grado de cohesión necesario para sostenerse y cómo se desintegraban al intentar aserrarlos. Durante este monólogo no advertí que Creutz desaparecía silenciosamente llevándose mi briqueta. Volvió pocos minutos después y me la enseñó primorosamente cortada en dos mitades intactas. Cuando regresé a Chicago cortamos todas nuestras preciosas briquetas de acuerdo con las instrucciones de Wigner.

Una vez montada la primera pila exponencial de Chicago, se midió la atenuación del flujo neutrónico mediante láminas de indio colocadas en la forma prescrita a lo largo del eje; el valor de "k" resultó ser aproximadamente 0,91. Fermi vino de Columbia para dar la aprobación oficial y pidió todos los datos referentes a las láminas: espesores, posiciones, velocidades de recuento, etc., datos que, naturalmente, le facilitamos de buena gana. Se encerró en un despacho y transcurridas algunas horas convocó a varios de nosotros para celebrar un pequeño semi-

nario. Después de algunas observaciones preliminares nos dijo que el valor de "k" era 0,93. Hice un gesto de sorpresa y objeté que era 0,91. Sólo en otra ocasión he visto a Fermi tan enojado. Se enorgullecía siempre de ser más cauteloso que nadie y he aquí que ahora había un experimentador más moderado que Fermi en la apreciación de sus propios resultados. Después de algunas observaciones cáusticas comenzó a sonreír de nuevo y advertimos que yo había utilizado un valor anticuado, ya desechado por Fermi para el coeficiente de difusión del grafito.

La noticia de haberse obtenido en Chicago un valor más alto de "k" produjo al principio un efecto depresivo en Columbia, tal como si a ellos, los iniciadores del programa, les hubiese pasado inadvertido algún recurso técnico. Se tuvo en seguida la explicación cuando se supo que los canadienses habían purificado algo el óxido enviado a Chicago. Aunque impuro según criterios modernos, el óxido de Chicago era muy superior al de Columbia; se hallaba exento en particular de ciertas impurezas alquitranosas a las que se debían las mejores propiedades de compresión del material utilizado en Columbia.

Por aquel entonces se decidió concentrar todos los esfuerzos en la reacción en cadena de Chicago, por lo que pronto se incorporaron a nuestro grupo, procedentes de Columbia, Fermi y sus colaboradores, que eran ya maestros en el arte de la pila exponencial y a los que yo, humilde aprendiz, dejé la tarea de apilar los bloques de grafito. Resultaba cada vez más evidente que la dificultad principal estribaba en obtener uranio, compuestos de uranio y grafito de gran pureza en cantidad suficiente. Nuestros primeros intentos de conseguir uranio metálico puro no fueron muy satisfactorios. Debido a sus excelentes condiciones para la generación de rayos X por bombardeo electrónico, la Westinghouse Lamp Works lo había producido en cantidades minúsculas para ensayarlo como blanco de tubos de rayos X. Desgraciadamente, se comprobó que para esta aplicación el punto de fusión del metal puro era, como mínimo, 600°C inferior al valor citado en los trabajos sobre el particular. El proceso de la Westinghouse comprendía una reducción fotoquímica del nitrato de uranio en una solución de fluoruro potásico y azúcar. El precipitado de  $KUF_5$  se fundía y el uranio se recuperaba por electrolisis de la sal fundida. Aunque el metal obtenido era el mejor de que podía disponerse en las primeras etapas del proyecto, el proceso resultaba demasiado complicado para aplicarlo a la producción de las cantidades deseadas.

Un método que consistía en reducir a polvo el óxido de uranio calentándolo con hidruro de litio y en sinterizar después el polvo para formar bloques metálicos, produjo un material muy pobre, parte del cual resultó pirofórico al abrirse los recipientes que lo contenían. No bastaba con hallar un procedimiento de producción de uranio, sino que además era nece-

sario elaborar y aplicar técnicas analíticas de sensibilidad suficiente para controlar el elevado grado de pureza prescrito en las especificaciones. Resultaban inadecuados los viejos métodos analíticos utilizados para el boro y fue preciso que el Bureau of Standards elaborase otros nuevos. En Princeton se ensayaron métodos para el cadmio.

Decidí dedicar mi actividad al problema de los materiales puros, y ello parecía lógico, ya que por entonces el profesor Compton me pidió que dirigiera la sección de química del proyecto, que se hallaba en rápida expansión. Parecían increíbles la prisa y la confusión existentes. Los ingleses nos habían enseñado un método de producir uranio por reducción del tetrafluoruro con calcio o magnesio. El doctor Alexander Smith abandonó su inactividad, pues ya se había jubilado, y nos construyó una pequeña planta piloto destinada a la producción de fluoruro a partir del nitrato. Se efectuó un gran progreso cuando Compton convenció a la Mallinckrodt Chemical Company para que acometiese la purificación del nitrato de uranio por el arriesgado método de la extracción con éter. Se firmaron contratos con diversas compañías para la producción de uranio, aunque en un principio no se les comunicaron los métodos de análisis. Durante algunos meses publiqué un boletín semanal con los resultados de los análisis de preparaciones de uranio realizados en Chicago, el Bureau of Standards, Princeton, St. Louis, Ames y muchos otros laboratorios que trabajaban en la producción y análisis. Aunque algunas de las compañías deseaban que sus propios métodos analíticos no se comunicasen a los competidores, la urgencia de los trabajos venció todas las objeciones.

La pureza del grafito era también de gran importancia. Fue difícil explicar a los grandes fabricantes de grafito, cuyos productos eran perfectamente satisfactorios para electrodos en la industria siderúrgica, la necesidad de fabricar millares de toneladas de la calidad del grafito empleado para terminales de arco en análisis espectroscópico. Nadie se había preocupado hasta entonces por el boro existente en el grafito y nadie sabía tampoco la cantidad de aquél que contenía el grafito comercial. Recuerdo un viaje agotador, realizado con Norman Hilberry, a la Speer Graphite Company, situada en una región apartada del noroeste de Pennsylvania. Esta empresa, relativamente pequeña, había accedido a ensayar ciertos procedimientos que nosotros recomendamos para producir grafito con menor contenido de boro. Recuerdo la expectación que se produjo cuando llegó la primera remesa de grafito de la casa Speer en mayo de 1942 y el coeficiente "k" se elevó a 0,995, aunque todavía se usaba uranio de calidad inferior.

Por supuesto, trato sólo de dar una leve idea del rápido desarrollo de aquel proyecto. Los químicos estaban separando plutonio en cantidades del orden del microgramo a partir de material irradiado en el ciclotrón de la Universidad de Washington. Otros descubrían a diario nuevos productos de fisión o estudiaban los efectos de dislocación originados en el grafito por bombardeo con neutrones rápidos. Los físicos buscaban y hallaban nuevos emisores de neutrones retardados y medían la curva de desintegración correspondiente a la suma de todos los productos de fisión. Se construyeron reticulados con proporciones variables de uranio y grafito para determinar su efecto sobre el coeficiente "k". Los biólogos realizaban los primeros experimentos encaminados a determinar los riesgos que entrañaban para la salud los neutrones lentos, con objeto de proyectar el blindaje del reactor. A pesar de las medidas oficiales que se adoptaron para evitarlo, se filtraron hasta el laboratorio noticias de una prolongada conferencia celebrada en Berkeley para estudiar las posibilidades de una reacción termonuclear. Diariamente se sostenían enconados debates sobre las ventajas de utilizar líquido o gas para la refrigeración de los reactores.

Considerado retrospectivamente, parece que el programa del Proyecto Metalúrgico se concibió eficazmente para la consecución de su objetivo, pero para cualquiera envuelto en la vorágine de aquellos días parecían existir largos períodos de estancamiento. Yo, al menos, estaba dominado por un sentimiento intolerable de confusión, prisa y temor de que nuestros enemigos se hallasen más adelantados que nosotros. Por fin, el 2 de diciembre de 1942 habían llegado a Chicago cantidades suficientes de grafito, uranio y óxido de uranio de pureza adecuada de forma que, cuando se añadió la última remesa a la estructura creciente del reactor y Fermi retiró la barra de control, el flujo de neutrones creció exponencialmente con la segunda derivada positiva respecto del tiempo, tal como Wigner había esperado. Aquel día había muchas conferencias y muy pocos dispusieron del tiempo necesario para presenciar el acontecimiento. En otra sala celebraba reunión el Comité de inspección Du Pont para escuchar las exposiciones de los miembros participantes en el proyecto. Por ejemplo, John Marshall, que había trabajado con tanto empeño como cualquier otro en la construcción de la pila, se hallaba ausente, en la planta de hidruros metálicos; en muchos despachos se estudiaban proyectos de reactores.

Aquel día llegué a casa más tarde de lo corriente y tan agotado como de costumbre; como tenía prohibido decir una sola palabra sobre nuestro trabajo a mi familia; me fui derecho a la cama para recuperar fuerzas y poder hacer frente al caos que, como era habitual, me esperaba a la mañana siguiente.