

## Una mirada a la separación y transmutación aplicada a la gestión del combustible gastado

En el mundo se genera un 18% de energía nucleoelectrónica del total de la electricidad producida. En el 2006, estaban operativas 443 plantas nucleares con una capacidad instalada de 370 GW(e) y 26 en construcción.

Dado que la demanda de energía aumentará en las próximas décadas, mientras los recursos tenderán a escasear y la perspectiva del calentamiento global conducirá a la reducción del consumo de combustible fósil, es razonable asumir un desarrollo sustentable de la energía nuclear.

Los residuos de alta actividad (RAA) se producen dentro de los elementos combustibles durante la operación de los reactores nucleares, debido a procesos de fisión y de captura neutrónica. Como resultado, se genera gran cantidad de energía, productos de fisión y elementos transuránicos, de los cuales el plutonio es el mayoritario y el americio, el curio y el neptunio los minoritarios, también llamados Actínidos Menores (AMs). Además se originan productos de activación por captura neutrónica de los componentes estructurales.

Si bien existen soluciones tecnológicas para disponer los residuos en un repositorio geológico profundo (RGP) con garantías suficientes de seguridad durante el período que deben permanecer confinados, el reciclado y reuso de

los materiales físi les y fértiles se convertirá en una necesidad insoslayable.

Existen dos opciones para el ciclo de combustible nuclear: los elementos combustibles gastados se acondicionan para su disposición final directa (**ciclo abierto**) o se reprocessan (**ciclo cerrado**) para separar y reciclar en los reactores el plutonio y el uranio como combustible de óxidos mixtos (MOX). Los residuos resultantes, son principalmente los residuos líquidos de alta actividad (RLAA) que se gestionan incorporándolos a una matriz vítrea para su disposición final en un RGP.

El término transmutación proviene de los viejos alquimistas en su quimera de transformar o transmutar los metales viles en oro. Desde mediados de la década de los 90, los científicos buscan la manera de transmutar los residuos radiactivos de período de semidesintegración largo en otros más cortos o en núclidos estables, disminuyendo así el inventario radiactivo y por lo tanto el riesgo radiológico potencial a largo plazo de los RAA en un repositorio geológico profundo.

La Separación y Transmutación (S&T) actualmente en estudio, aplicada a los RAA (**ciclo cerrado avanzado**), es complementaria a la opción de reprocessamiento (ciclo cerrado) (fig.1). Independientemente del ciclo de combustible adoptado siempre será necesario el RGP para gestionar los RAA remanentes.

La Separación es una serie de operaciones químicas, en medio húmedo (hidrometalúrgicas) o en medio seco (pirometalúrgicas), para extraer los actínidos minoritarios y algunos productos de fisión de período largo, para convertirlos a un estado que permita su transmutación. El paso siguiente es la fabricación de combustibles como óxidos, que en el reciclado de plutonio está plenamente desarrollada y comercializada (combustibles



autor:  
Dra. Marta H. de Pahissa

Doctora en Farmacia y Bioquímica (UBA) (1)  
Ex jefe del Departamento de Tecnología de Procesos - Programa Gestión de Residuos Radiactivos (CNEA)

Colaboró con OIEA, DOE, ENRESA y KfK

Docente y conferencista

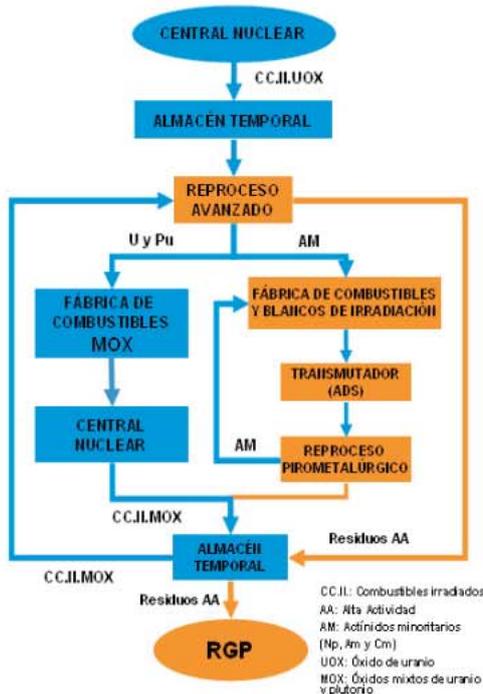


Fig.1 CICLO CERRADO AVANZADO DE COMBUSTIBLE IRRADIADO

MOX) o como los nuevos combustibles, que consiste en la incorporación de los AMs en matrices inertes. La transmutación de los actínidos se realiza generalmente a través de reacciones de fisión, mientras que la de los productos de fisión se efectúa por reacciones de captura neutrónica. En ambos casos será necesario disponer de sistemas transmutadores que produzcan un alto flujo de neutrones con un espectro energético adecuado, tales como los reactores rápidos o los sistemas subcríticos accionados por un acelerador. En estos últimos, un flujo de protones de alta energía, producidos por un acelerador de partículas, inciden sobre un metal pesado (por ej., plomo) y producen, por reacciones de espalación, un elevado flujo de neutrones de alta energía.

Los radionucleidos no transmutados se separarán mediante procesos pirometalúrgicos para luego ser reciclados nuevamente. Para alcanzar un factor de reducción próximo a 100 (fig.2) será necesario irradiar varias veces estos elementos en los reactores transmutadores, requiriendo una etapa de separación entre cada dos transmutaciones. En el ciclo abierto se observan factores de reducción del orden de 2 a 5 cuando se recicla plutonio.

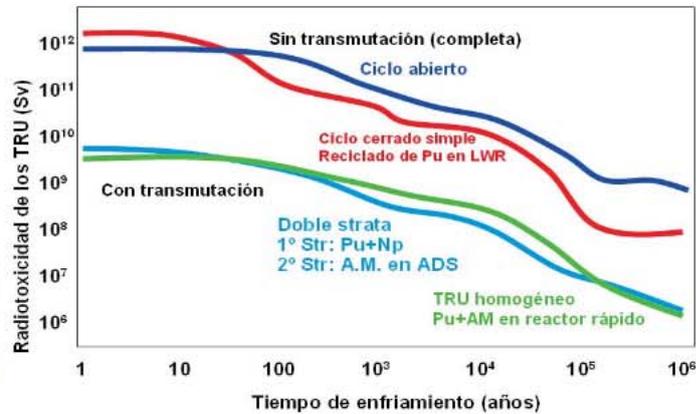
La investigación hoy está centrada en el diseño de aceleradores de protones con una energía próxima a 1 GeV, de alta intensidad y estabilidad y en el diseño de fuentes de espalación. El proyecto de demostración consiste en el desarrollo de un transmutador de 300 megavatios que estará listo en 10 años. Este proyecto es europeo y se estiman otros 20 años para disponer de un equipo industrial.

**Los beneficios de la S&T son:**

- Una reducción importante de la radiotoxicidad y del tiempo en que ésta tiene valores elevados. Los valores de radiactividad que en el ciclo abierto se alcanzarían a los 100.000 años, con la S&T sería de unos 1000 años.
- Una reducción del volumen de los RAA, en comparación con el ciclo abierto. Si además se extraen el estroncio y el cesio, relevantes por la generación de calor, será aún menor el tamaño del RGP.
- Aprovechamiento de la energía generada al transmutar el Pu y los AMs por fisión, que puede utilizarse en la producción de electricidad.

Frente a estas ventajas debe tenerse en

cuenta las grandes inversiones que serán necesarias para la puesta en marcha de un sistema de S&T y el costo de su operación. El objetivo de la I&D actual y prevista para los próximos años es evaluar la viabilidad de estas técnicas, manteniendo niveles asumibles de



**Fig. 2 RADIOTOXICIDAD DE LOS ACTINIDOS EN LA S&T**

costos y riesgos totales.

Las organizaciones internacionales jugarán un papel importante en el desarrollo de principios y guías contra la proliferación, en la coordinación del planeamiento estratégico y en la evaluación de las opciones tecnológicas de dichos sistemas si fuera necesario. Además están en marcha programas destinados al desarrollo de energía nucleoelectrónica con reactores de IV Generación, con el objeto de identificar sistemas (reactor y ciclo de combustible) que cumplan con los desafíos de seguridad, de competitividad económica, de minimizar los residuos, de evitar la proliferación y de conservar los recursos de uranio. En Francia, el Comité de la Energía Atómica en su reunión del 2005, tomó como prioridad la investigación vinculada a estos reactores rápidos y proyecta su operación para mediados de este siglo.

**En el tema de S&T trabajan fundamentalmente Estados Unidos, Japón, Rusia y la Unión Europea.**

(1) La Dra. Marta H. de Pahissa recibió Medalla de oro a la mejor Tesis (UBA, año1973) y el Premio a la Excelencia Profesional (Organización Mundial de las Naciones, año 1991)

ABREVIATURAS:  
CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica / DOE: Department of Energy (EE.UU.) / ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (España) / KfK: Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (Alemania) / OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica.



**Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable**  
**Comisión Nacional de Energía Atómica**  
 Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds  
 Av. del Libertador 8250 - (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina  
 Año de edición: 2009 ISBN: 978-987-1323-12-8