

TRANSMUTACIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS

E. GONZÁLEZ - M. EMBID

La transmutación de residuos radiactivos es una tecnología propuesta en ciclos avanzados del combustible nuclear para reducir substancialmente el contenido en actínidos y el inventario total de radiotoxicidad finalmente confinado en el repositorio geológico. En el artículo se describen los principios físicos, la motivación, las razones de su actualidad y los beneficios esperados de la aplicación de esta tecnología a la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad. En esta descripción también se incluyen los principios de los distintos tipos de ciclos avanzados del combustible, previstos para la aplicación de la transmutación de residuos. El artículo concluye con un breve resumen de la I+D actual (desde la perspectiva de la UE) y una visión del futuro próximo de esta investigación.

Nuclear waste transmutation is a technology included in proposals of advanced nuclear fuel cycles, to achieve large reductions in the actinide content and the total radiotoxicity inventory finally disposed to the geological repository. The physical principles, motivation, reasons for present attention, and advantages of the application of this technology to the high level waste management, are described in the article. Different advance fuel cycles proposed for the application of the transmutation techniques are also briefly described. Finally, the article summarizes the present I+D projects (from an EU perspective) and gives an outlook of the research in this field for the near future.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los residuos radiactivos de alta actividad contenidos en el combustible irradiado de las actuales centrales nucleares constituyen una de las mayores problemáticas asociadas a la explotación de esta fuente de energía. Los estudios realizados durante las últimas décadas nos permiten concluir que el almacenamiento geológico profundo puede considerarse una solución al problema. Sin embargo, y a pesar de que las dosis más probable para la población debida a estos almacenamientos es en todo momento inferior a las dosis debida a fuentes naturales, la localización de su emplazamiento presenta graves dificultades de aceptación pública.

El motivo de esta preocupación social se encuentra en el gran inventario de radiotoxicidad concentrado y confinado en el almacenamiento, asociado a los isótopos de Pu, Am, Np, Cm y

fragmentos de fisión contenidos en el combustible irradiado, y a los enormes periodos necesarios para que este riesgo potencial desaparezca, que, alcanzando las decenas y centenas de miles de años, supera la predictabilidad de nuestras tecnologías y estructuras sociales.

La transmutación de los residuos radiactivos se propone como un elemento adicional del ciclo del combustible nuclear que permite conseguir una reducción importante del inventario de radiotoxicidad a ser finalmente almacenado. Una parte de la tecnología y de los conceptos involucrados en la transmutación de los residuos radiactivos es tan vieja como el uso de la energía nuclear (reprocesado de combustible y reutilización de Pu), sin embargo a partir de 1990 los esfuerzos de investigación en transmutación se han incrementado progresivamente en todos los países con producción de energía de origen nuclear.

Tres grupos de impulsos han fomentado este renacimiento de la transmutación. Por una parte las investigaciones de los grupos de C. Bowman en (EE.UU., 1992), C. Rubia y su grupo del CERN (Suiza, 1994), el grupo del CEA dirigido por M. Salvatores (Francia, 1994) y T. Mukayama y su grupo de Jaeri (Japón, 1994), que, uniéndose avances de física nuclear básica e ingeniería nuclear, proponen nuevas opciones tecnológicas para la realización de la transmutación.

El segundo impulso procede de la apertura de Estados Unidos a la utilización del reprocesado del combustible irradiado con fines civiles (2001), particularmente para conseguir extender la capacidad efectiva del repositorio de Yucca Mountain.

El tercer impulso se encuentra en la creciente concienciación social que

impone a todos los procesos industriales, incluyendo todos los métodos de producción de energía, la reducción de su impacto sobre el medio ambiente.

En este entorno, el Senado español recomendó posponer hasta el año 2010 la decisión sobre la gestión definitiva de los residuos radiactivos de alta actividad, solicitando la evaluación de todas las alternativas para esta gestión, incluida su posible transmutación. Esta sugerencia ha sido recogida por ENRESA que desde su Plan de I+D 1999-2003 financia la investigación en Separación y Transmutación, así como por el CIEMAT, varias universidades, el CSIC y Empresarios Agrupados que han constituido grupos de investigación en distintas áreas de I+D relacionadas con la Separación y Transmutación de residuos radiactivos. De forma equivalente en Francia, se había promulgado una ley que fija el año 2006 como el límite para su decisión sobre la gestión final de los residuos radiactivos de alta actividad.

EL PROCESO DE LA TRANSMUTACIÓN

El término transmutación significa convertir un elemento químico en otro y por extensión un isótopo en otro. En gestión de residuos radiactivos, aplicamos el término transmutación a la transformación de un isótopo radiactivo en otro isótopo o elemento que sea estable o con una gestión más favorable.

La componente fundamental (más del 99%) del inventario de radiotoxicidad del combustible irradiado después de 300 años, y la que extiende la radiotoxicidad de estos residuos a decenas de miles de años, está constituida por los actínidos transuránicos (TRU): neptunio, plutonio, americio y curio.

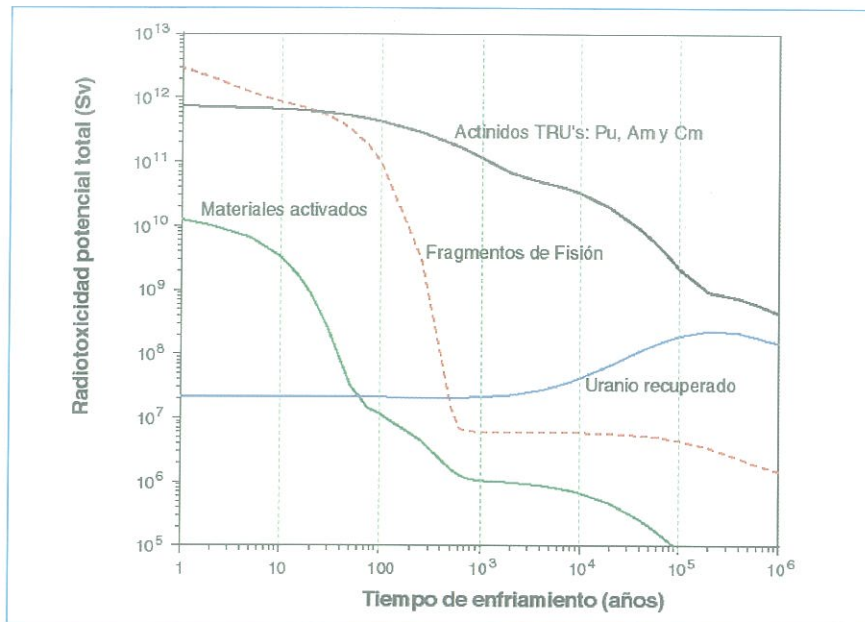


Figura 1: Componentes de la radiotoxicidad de los combustibles irradiados en LWR.

Además de estos actínidos también hay unos pocos fragmentos de fisión (^{99}Tc , ^{129}I , ^{135}Cs ,...) con vidas medias de cientos de miles de años, aunque su contribución a la radiotoxicidad del combustible irradiado es muy limitada en términos absolutos.

Uno de los objetivos fundamentales de la transmutación es la reducción del inventario de radiotoxicidad a medio y largo plazo. Por este motivo el primer objetivo de la transmutación es la reducción del inventario de actínidos transuránicos. Para los actínidos la única transmutación propuesta es su fisión, generalmente inducida por neutrones. Sometidos a un flujo neutrónico intenso, cualquier transuránico acaba por fisionar, bien directamente o bien tras ser convertido en distintos isótopos por sucesivas capturas de neutrones y desintegraciones radiactivas.

En el proceso de fisión se producen dos fragmentos de fisión, nuevos neutrones y aproximadamente 200 MeV de energía. Los fragmentos de fisión pueden ser estables o radiactivos, pero en este segundo caso la gran mayoría tiene una vida media inferior a 30 años, y por tanto el problema de su gestión queda confinado a menos de 300 años, abordable con total garantía en función de soluciones puramente tecnológicas. Los nuevos neutrones permiten mantener la cadena de fisio-

nes como en un reactor nuclear. Finalmente la energía liberada puede ser utilizada para producir electricidad. De hecho si se transmutan todos los actínidos contenidos en los combustibles irradiados se producirá una cantidad de energía equivalente a entre el 20% y el 30% (dependiendo del grado de quemado del combustible) de toda la energía producida por el combustible durante su irradiación.

Para la aplicación masiva de la transmutación a los residuos radiactivos, es necesario utilizar reactores nucleares o dispositivos semejantes capaces de generar importantes flujos neutrónicos y de evacuar y utilizar la energía generada en el proceso. De esta forma la transmutación de residuos radiactivos constituye un elemento más del ciclo del combustible nuclear, y sus posibles beneficios y dificultades tienen que ser evaluados dentro de estos ciclos avanzados.

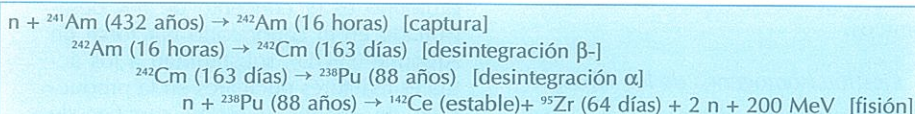
Antes de proceder a la transmutación, es necesario extraer y concentrar los actínidos transuránicos utilizando para ello las técnicas de separación y reprocesado del combustible. Los niveles de separación alcanzables en este proceso, junto con las características de los sistemas transmutadores, definen el grado de reducción de radiotoxicidad alcanzable. Internacionalmente se asume que los grados de extracción al-

canzable serán superiores al 99,9% para el plutonio y al 99% para los actínidos minoritarios. Con estas hipótesis, la reducción en el inventario de actínidos y de radiotoxicidad a medio y largo plazo podrá ser superior a un factor 100.

Otro elemento tecnológico novedoso que juega un papel importante en el planteamiento actual de la transmutación son los sistemas subcríticos asistidos por acelerador ADS. Aunque existen varias propuestas para la realización de la transmutación, en buena parte de los escenarios es necesario recurrir a combustible muy ricos en plutonio y/o actínidos minoritarios y con bajo contenido en uranio o torio, a reactores rápidos y a grados de quemado por ciclo de irradiación muy elevado (>120 GWd/T_{MP}). En estas circunstancias la flexibilidad proporcionada por un sistema subcrítico y operable con una reactividad variable, es un elemento imprescindible para remontar las importantes carencias de seguridad intrínseca del combustible, balance neutrónico y gestión eficiente del combustible en el reactor. La viabilidad tecnológica de los ADS ha sido asumible únicamente a finales de la década de 1990, donde los avances en los aceleradores hacen posible diseñar sistemas con intensidades y estabilidades necesarias para su utilización en la industria nuclear. En la actualidad se trabaja sobre diseños de este tipo de sistemas nucleares en Japón, Corea del Sur, Rusia, EE.UU. y sobre todo en Europa, donde destaca el proyecto PDS-XADS del 5º Programa Marco de la UE.

CICLOS AVANZADOS DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Aún no hay un consenso sobre la solución óptima para integrar las técnicas de Separación y Transmutación en el ciclo del combustible nuclear. De hecho se reconoce que cada país o región puede necesitar una implementación diferente, en función de su previsión futura del uso de la energía nuclear (crecimiento, equilibrio o eliminación) y del grado de implementación actual de las tecnologías de separación y reciclado de plutonio. Los componentes básicos de los ciclos avanzados son, sin embargo, esencialmente los mismos en los distintos ciclos del combustible, lo que permite aunar esfuerzos en la investigación en Separación y Transmutación. Aunque el número de variantes es muy elevado, la mayoría de ciclos de combustible estudiados hasta el momento pueden clasificarse en los siguientes tipos:



Esquema: Uno de los posibles caminos de transmutación del ^{241}Am .

Ciclo cerrado simple

Los residuos nucleares procedentes de centrales de agua ligera (LWR) serían reprocesados para extraer en distintas corrientes el Pu, el U y los actínidos minoritarios (AM) y fragmentos de fisión (FF). El Pu sería reutilizado para la fabricación de nuevo combustible, que sería irradiado bien en los mismos LWR (por ejemplo, en forma de MOX ($\text{UO}_2 + \text{PuO}_2$)) o en nuevos reactores de espectro térmico o rápido. Dependiendo del tipo de reactor en que se utilice el Pu, se considera la posibilidad de su reprocesado múltiple con más o menos ciclos de irradiación. El uranio podría ser reutilizado o acumulado en un almacén especial en superficie. Por último, todos los AM y FF de los LWR y de la utilización del Pu, y las pérdidas de separación de Pu y U serían enviados a un almacenamiento geológico profundo.

Esta estrategia permite por una parte la recuperación de la energía contenida en el Pu, que puede tener un alto interés comercial, y proporcionar una importante reducción del interés de proliferación del combustible irradiado de los LWR. Además en las condiciones particulares de la legislación americana para Yuca Mountain, esta estrategia puede permitir extender de forma notable (factor entre 5 y 50) la capacidad del almacenamiento geológico profundo, en términos de energía total producida en los LWR. Sin embargo, la elevada producción de actínidos minoritarios en la irradiación del combustible de Pu y las limitaciones en su reciclado resultan en una reducción muy limitada de la radiotoxicidad y de los parámetros del repositorio geológico, cuando se usan como referencia los estudios realizados en países de la UE.

Doble "estrata"

En este tipo de estrategias la mayor parte de la producción de electricidad y la gestión del plutonio tiene lugar, como en el ciclo cerrado simple, en los actuales LWR y con la posibilidad de algunos reactores avanzados para el uso del Pu, constituyendo el primer "estrata". Sin embargo, los actínidos minoritarios procedentes del reprocesado del combustible UO_2 de los LWR y de los combustibles de Pu, serían irradiados y reciclados, en reactores especiales en el segundo estrata, junto con la parte de Pu no utilizada en el primer estrata. Estos reactores del segundo estrata muy probablemente tendrían que ser ADS de espectro rápido para aceptar los combustibles extremos que aparecen en esta parte del ciclo. Así mismo, será necesario recurrir a

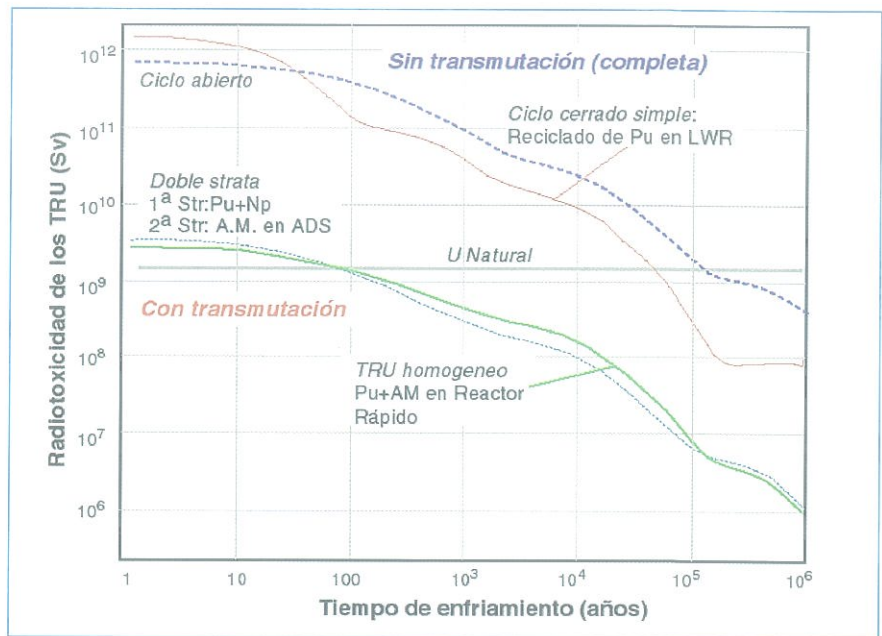


Figura 2: Radiotoxicidad de los actínidos transuránicos sin y con transmutación en distintos tipos de ciclos avanzados del combustible.

nuevas técnicas de reprocesado para el segundo estrata, entre las que se discuten las técnicas pirometalúrgicas.

En este tipo de ciclos, los únicos actínidos finalmente enviados al repositorio geológico son las pérdidas por reprocesado, lo que permite reducir en un factor superior a 100 tanto el inventario de actínidos, como el de radiotoxicidad a medio y largo plazo. Este tipo de ciclos utilizan el contenido energético de los actínidos transuránicos, elimina completamente el interés de proliferación del combustible irradiado y reduce los requisitos del repositorio geológico final. El impacto en el repositorio podría aprovecharse completamente con la separación del ^{90}Sr y el ^{137}Cs , reduciendo la fuente de calor para el repositorio. El impacto en el repositorio de estos escenarios está actualmente en evaluación, aunque se espera resultado muy positivo.

Para entender el doble estrata, es necesario tener en cuenta que la fracción de producción energética (y de flujo de actínidos) asociado al segundo estrata es en todos los casos muy limitada (entre el 5% y 15%) y que al estar los combustibles del primer estrata libres de AM, probablemente podrían utilizar tecnologías ya demostradas de reactores y reprocesado. El resultado de estos datos, es que esta opción puede ser la menos costosa entre las distintas opciones con gestión completa de los transuránicos.

Gestión homogénea de los TRUs

Una propuesta distinta para la gestión completa de los actínidos transuránicos es mantener unidos Pu y AM des-

pués de su extracción del combustible de los reactores LWR. En esta opción los transuránicos son gestionados homogéneamente tanto en su irradiación en reactores críticos o ADS especiales (generalmente de espectro rápido) como durante su reprocesado. Los resultados finales en cuanto a descarga hacia el repositorio geológico, y por tanto sus beneficios son esencialmente los mismos que en el caso del doble estrata. Sin embargo, este ciclo, al mantener todos los TRU juntos a lo largo del ciclo, presenta una mayor resistencia a la proliferación en el propio ciclo. Las primeras estimaciones indican que el mayor volumen de combustible con alto contenido en AM e isótopos elevados del Pu podrían resultar en un ciclo más costoso que en el caso del doble estrata, sin embargo, las incertidumbres en estas estimaciones son demasiado amplias para llegar a una conclusión definitiva.

Gestión integrada

A más largo plazo, se propone un futuro en el que aquellos países que continúen explotando la fisión nuclear como fuente de energía puedan recurrir a una nueva generación de reactores nucleares capaces de realizar la transmutación de sus propios residuos. Estos reactores, generalmente de espectro rápido y de los que un posible ejemplo prototipo es el concepto de IFR desarrollado en el Laboratorio Nacional de Argonne (EEUU), substituirían a los actuales reactores nucleares en la producción de energía y serían capaces de aceptar un combustible en el que se incluyeran los actínidos transuránicos y

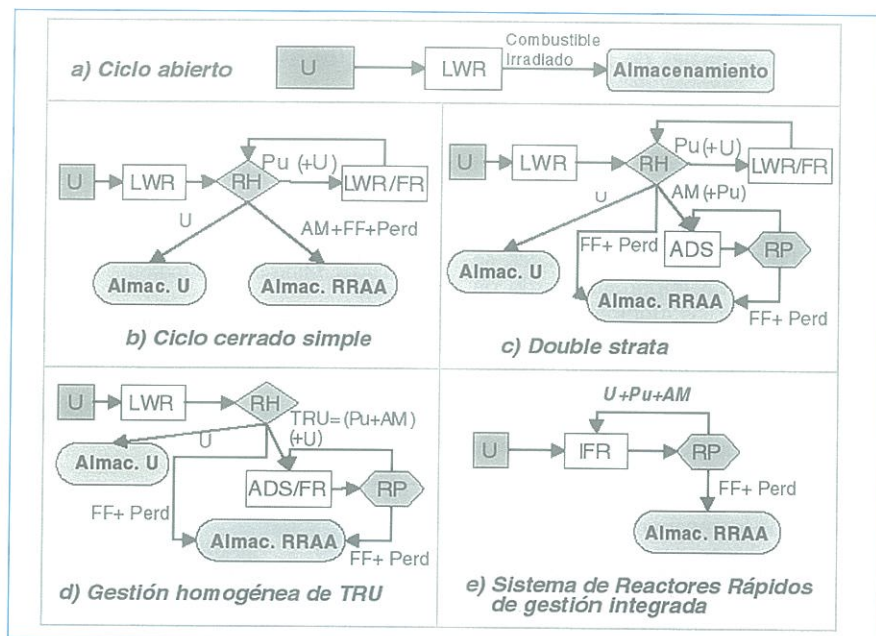


Figura 3: Esquema de distintos tipos de ciclos de combustible. LWR, FR, ADS, IFR, RH y RP indican respectivamente: Reactor de agua ligera (o térmico en general), reactor rápido, Sistema subcrítico asistido por acelerador, Reactor rápido integral, Reprocesado Hidrometalúrgico y Reprocesado Pirometalúrgico.

algunos fragmentos de fisión resultantes del reprocesado de su propio combustible. La definición precisa de las técnicas de reprocesado y el coste asociado a la utilización de un combustible con alto contenido en AM, en todo el ciclo del combustible están aun por determinar.

Al igual que en los dos ciclos anteriores, los únicos actínidos enviados al repositorio son las pérdidas de reprocesado, por lo que comparte con ellos los beneficios relativos a la reducción de inventario de actínidos y riesgo de proliferación asociado al repositorio, con sus consiguientes reducciones en requisitos del repositorio, así como el aprovechamiento energético del Pu y AM. De hecho la utilización de un reactor de espectro rápido para la producción de energía mejora ligeramente la relación entre los transuránicos y energía producidos.

Eliminación progresiva de la energía de fisión nuclear

Los estudios de la aplicación de la transmutación a escenarios de transición y en particular al caso de eliminación de la producción de energía de origen nuclear están menos estudiados que los ciclos anteriores. Una de las opciones consideradas es el almacenamiento del combustible gastado durante un periodo de varias decenas de años, seguida por la transmutación homogénea de todos los actínidos transuránicos en un ADS de espectro rápido y combustible con matriz inerte o parcialmente fértil.

Los estudios realizados indican que es posible conseguir niveles de reduc-

ción de transuránicos superiores a un factor 30, pero que este proceso requiere periodos de transmutación muy extensos y no está exento de dificultades en el despliegue de las instalaciones asociadas. Esta aproximación permite conseguir las mismas ventajas que en los ciclos anteriores, aunque con una reducción algo menor. La aplicación de la transmutación a escenarios de eliminación progresiva se simplifica notablemente si se puede armonizar con su implementación en escenarios de mantenimiento de la energía nuclear en países o regiones próximas, con las que se puedan compartir instalaciones y tecnologías.

POSIBLES BENEFICIOS DE LA TRANSMUTACIÓN

Los estudios realizados en el seno de la AEN/OCDE indican que la utilización de las técnicas de Separación y Transmutación de residuos radiactivos permitirán conseguir una reducción del inventario de actínidos y de radiotoxicidad a medio y largo plazo (>300 años) superior a un factor 100, cuando se transmutan todos los elementos transuránicos. Los principales beneficios esperados de esta reducción son:

- Una reducción importante del intervalo de tiempo requerido para alcanzar cualquier nivel de referencia de radiotoxicidad por el inventario contenido en los repositorios geológicos. Así, por ejemplo, el combustible irradiado necesita más de 100.000 años para alcanzar el nivel de radiotoxici-

dad de la cantidad de uranio natural a partir de la cual se fabricaron los combustibles frescos, mientras que con las técnicas de transmutación el tiempo equivalente para los residuos finales se reduce a unos mil años.

- La Separación y Transmutación permitirán previsiblemente una reducción del volumen necesario en el almacenamiento final, en comparación con el ciclo abierto. Si además en el proceso de separación se extraen el Sr y el Cs, y se los gestiona de forma separada (durante unos 300 años), la reducción en volumen y otros parámetros del repositorio final puede alcanzar un factor importante (su estimación es objeto de estudios que se inician en la actualidad). Estas reducciones probablemente permitirán substanciales reducciones en el coste del almacenamiento e incluso limitar el número de repositorios.

- Al transmutar el plutonio y AM por fisión se recupera la energía almacenada en estos isótopos para la producción de electricidad u otras formas de energía útil, con un importante beneficio económico, que compensa en buena parte los costes añadidos por la introducción en el ciclo de combustible de sistemas de reprocesado y reactores avanzados.

- Por último, la reducción de los isótopos fisionables elimina el interés del sabotaje o intrusión voluntaria en el repositorio con fines de proliferación.

Todos estos efectos redundan en un almacenamiento final con menos riesgo potencial y más controlable a escala humana y tecnológica. Los riesgos para el público que se eliminan en el repositorio, se reintroducen en parte a los operadores en los nuevos ciclos de combustible. El objetivo de la I+D actual y prevista para los próximos años es evaluar la viabilidad de estas técnicas manteniendo niveles asumibles de costes y riesgos totales.

I+D ACTUAL DE LA TRANSMUTACIÓN

Japón, Korea, Rusia y sobre todo EE.UU. (programas ATW, AAA y AFCI) y Europa tienen importantes programas de I+D relacionados con las tecnologías asociadas con la Separación y Transmutación de residuos radiactivos. En Europa esta I+D se estructuró siguiendo las indicaciones del "Roadmap Europeo hacia un XADS" y su implementación en el 5º Programa Marco de la UE. La coordinación interregional se realiza en función de grupos de trabajo de la OIEA y muy notablemente el

Working Party on Partitioning and Transmutation, WPPT, de la AEN/OCDE.

Las principales áreas de investigación actuales están centradas en:

- Evaluación de balance, rendimientos y necesidades de distintas opciones para los distintos tipos de ciclos de combustible avanzado.

- Concepción, física y prediseño de ingeniería de sistemas nucleares dedicados a la transmutación, y muy particularmente de sistemas ADS. Proyectos *MUSE*, *PDS-XADS* y *Myrrha*.

- Estudios sobre tecnología avanzadas del combustible, capaces de funcionar sin matriz de uranio, con altos contenidos en actínidos minoritarios, alcanzando elevados niveles de quemado y con buenas propiedades de reprocesado. Proyectos *FUTURE*, *CONFIRM* y *Thorium*.

- Técnicas de reprocesado avanzado, tanto hidrometalúrgico como piro-metalúrgico, capaces, los primeros, de separar cada elemento químico trabajando con los actuales combustibles de los LWR y pequeñas extensiones, y optimizados, los segundos, para combustibles con alto contenido en AM y gran nivel de quemado. Proyectos *CALIX-PART*, *PARTNEW* y *PYROREP*.

- Estudios de nuevos refrigerantes para sistemas nucleares de espectro rápido y de materiales para nuevos conceptos de reactores especialmente adaptados a la transmutación, incluyendo materiales compatibles con aleaciones de plomo y otros materiales compatibles con fuertes niveles de irradiación de neutrones y de protones energéticos. Proyectos *TECLA* y *SPIRE*.

- La obtención de una buena base de datos neutrónicos, químicos y físicos de los distintos isótopos que constituyen el combustible, materiales estructurales, refrigerante, etc. Proyectos *nTOD-ADS* y *HINDAS*.

- Diseño de aceleradores de protones con una energía próxima a 1 GeV, de alta intensidad y gran estabilidad y de fuentes de espalación. Estos aceleradores y fuentes de espalación serán utilizados para generar los neutrones necesarios para mantener la potencia de los reactores subcríticos. Proyectos *MEGAPIE*, *IPHI* y *TRASCO*.

En España, esta investigación está orientada además por el programa de I+D de ENRESA y sus principales esfuerzos de investigación se han realizando participando en 9 proyectos (indicados en cursiva) de los 14 del 5PM. Una gran parte de esta investigación se realiza en el CIEMAT, que participa en 8 de estos proyectos europeos y en los

foros internacionales de la OIEA y la AEN/OCDE, siempre dentro de acuerdos de colaboración con ENRESA.

EVOLUCIÓN DE LA I+D

En los últimos años y bajo los auspicios de las agencias internacionales, se ha alcanzado un importante grado de consenso sobre las funciones, posibilidades y elementos de la Separación y Transmutación en la gestión de los residuos radiactivos, concluyendo que será una pieza fundamental de la sostenibilidad de la producción de energía de origen nuclear.

Los mayores esfuerzos para los próximos años se encaminan en dos grandes líneas. La primera es la demostración de la viabilidad práctica de construcción, licenciamiento y operación de un ADS dedicado a la transmutación, y la viabilidad de fabricación y reprocesado de su combustible. En Europa y Rusia se han propuesto una serie de instalaciones (*MUSE*, *YALINA*, *SAD*, *TRADE* y *MYRRHA*) con distintos grados de aproximación a un demostrador de ADS. Estos esfuerzos y los de las tecnologías asociadas se concentran en una expresión de interés para el 6º Programa Marco conocido como *IP-ADOPT*.

La segunda línea es la evaluación cuantitativa del impacto de la introducción de estas tecnologías en la gestión de residuos radiactivos y en particular en el almacenamiento definitivo de los residuos de alta actividad. Esta investigación está siendo abordada por distintos foros de la AEN/OCDE, la OIEA y una propuesta al 6º Programa Marco de la UE conocida como *IMPACT*. En todas estas iniciativas participa el CIEMAT, ENRESA o ambas.

Los resultados de estas investigaciones tendrán que confirmar el potencial de las técnicas de Separación y Transmutación para facilitar y humanizar la gestión de los residuos asociados a la producción de energía de origen nuclear, tan importante por su capacidad de minimizar el impacto en el medio ambiente de la generación de energía.

REFERENCIAS

- *Tecnologías energéticas e impacto ambiental. Capítulo de Transmutación*. McGraw-Hill Profesional (2001).

- *A European Roadmap for Developing Accelerator Driven Systems (ADS) for Nuclear Waste Incineration*. The European Technical Working Group on ADS. ENEA (2001).

- *Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel*

Cycles. The NEA P&T Expert Group. OECD (2002).

- *Report to Congress On Advanced Fuel Cycle Initiative: The Future Path for Advanced Spent Fuel Treatment and Transmutation Research*. U.S. Department of Energy Office of Nuclear Energy, Science, and Technology. <http://aaa.lanl.gov> (2003).

- *Quinto Plan General de Residuos Radiactivos*. Ministerio de Industria y Energía, (1999).

<http://www.enresa.es/pgrr/PGRR99ES.pdf>

- *PLAN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO 1999-2003*. ENRESA.

http://www.enresa.es/Quiosco_pdf/l+d_folleto_espanol.pdf.



Enrique M. GONZÁLEZ ROMERO es doctor en Ciencias Físicas por la UCM. Tras 10 años de investigación en Física de Partículas, inició la investigación en ADS y Transmutación el año 1993 en el CERN. Actualmente dirige el Proyecto de Fisión asistida por Acelerador y Transmutación de Isótopos del CIEMAT, representando al CIEMAT en 3 proyectos del 5º PM de la UE relacionados con Separación y Transmutación de residuos radiactivos, así como en la red temática *ADOPT*. Desde el año 2002 es el coordinador del grupo de Física de reactores del Working Party on Partitioning and Transmutation (WPPT) de la AEN/OCDE.



Miguel EMBID SEGURA es doctor en Ciencias Físicas por la UAM y Master de Energía Nuclear. Inició su carrera en 1995 trabajando con el Premio Nobel Carlo Rubbia en el CERN (Suiza), dentro del proyecto del Amplificador de Energía. En 1998 se unió al proyecto de Fisión Asistida por Acelerador y Transmutación de Isótopos del CIEMAT, en el cual trabaja actualmente.