



## Una mirada a la expansión de las áreas de la Radioquímica

Quisiera referirme en primer lugar al crecimiento que ha habido en algunas de las áreas de esta disciplina, desde que María Curie llevó a cabo las primeras separaciones radioquímicas hasta nuestros días, sobre todo a partir de la fisión nuclear, con afinidad de aplicaciones en diferentes áreas de la medicina, la química y la biología.

Para tener una visión más clara de su crecimiento, permítanme hacer un poco de historia, ya que esto nos ayudará a reconocer tres etapas de crecimiento bien diferenciadas:

**PRIMERA ETAPA:** abarca el período comprendido entre el descubrimiento de la radiactividad *natural* por Beckerel (1893) hasta el descubrimiento de la *artificial* por el matrimonio Joliot-Curie (1934). En esta etapa las técnicas radioquímicas empleadas involucraron sólo un pequeño número de elementos con isótopos radiactivos naturales (Bi, Pb, Tl) además de los elementos radioactivos naturales que van desde el Po-84 hasta el U-92. Con la única excepción del Ra, se trabajó solamente a nivel de trazadores y se recurrió a las reacciones de precipitación para llevar a cabo las separaciones radioquímicas.

**SEGUNDA ETAPA:** abarca el período comprendido entre el descubrimiento de la radiactividad artificial, hasta la primera reacción nuclear en cadena en la pila de Fermi (1942). En esta etapa se descubrieron gran cantidad de nuevos radioisótopos artificiales a partir de diferentes reacciones nucleares ( $\alpha, n$ ) ( $n, p$ ) ( $n, \alpha$ ) ( $n, 2n$ ), etc., utilizando como proyectiles:

-Partículas  $\alpha$  provenientes de isótopos radiactivos (Ra, Po, etc.)

-Neutrones provenientes de fuentes ( $\alpha, n$ ), Por ej: Ra-Be.

-Haces muy intensos de partículas cargadas (m, p, d) provenientes de maquinas aceleradoras (acelerador lineal, ciclotrón, sincrociclotrón, etc.)

El descubrimiento más importante de esta etapa, en el que contribuyeron Joliot-Curie y colaboradores (Francia), Fermi y col. (Italia) y O. Hahn y col. (Alemania) fue el de la *fisión nuclear*, que incrementó enormemente la actividad en el campo de la radioquímica, ya que debieron ser separados e identificados más de 200 nuevos radioisótopos (productos de fisión) comprendidos entre el Zn(3) y el Eu(63).

Se trabajó, al igual que en la primera etapa, a nivel de trazadores pero, además de la técnica de precipitación, se incorporaron nuevas técnicas separativas, tales como: destilación, extracción por solventes o intercambio iónico, etc., para separar el radioisótopo de interés del



Autor:  
Osvaldo Cristallini

Doctor en química

Asesor ABACC

Experto en el desarrollo de  
Técnicas de Enriquecimiento  
de Uranio

blanco irradiado. También se multiplicaron durante este período las aplicaciones de la radioquímica en diferentes áreas, tales como la medicina, la biología y la metalurgia, entre otras.

**TERCERA ETAPA:** Abarca el período comprendido entre la puesta en funcionamiento del primer reactor nuclear por Fermi (1942), hasta nuestros días. Esta etapa marcó el comienzo de la *era nuclear* y del empleo del técnicas radioquímicas separativas con macrocantidades

(desde gramos a toneladas) de radionucleidos artificiales, tales como U-233, Cs-137, Co-60, Mo-99, etc., incluyendo los elementos transuránicos Pu-238, Pu-239, Am-241, Np-239, Cf-242, etc. Se utilizaron para ello instalaciones radioquímica especiales:

-Plantas de reprocesamiento de combustible nuclear agotado.

-Plantas de producción de radioisótopos de uso médico e industrial.

-Planta de tratamiento de residuos radiactivos.

-Laboratorios calientes para ensayos postirradiación.

-Plantas de enriquecimiento de U.

Los *procedimientos separativos* empleados más comúnmente en las plantas radioquímica son:

-Extracción por solventes (separación de U-Pu/PF)

-Intercambio Iónico, (Pu), (S-35), (Mo-99)

-Precipitación - Destilación

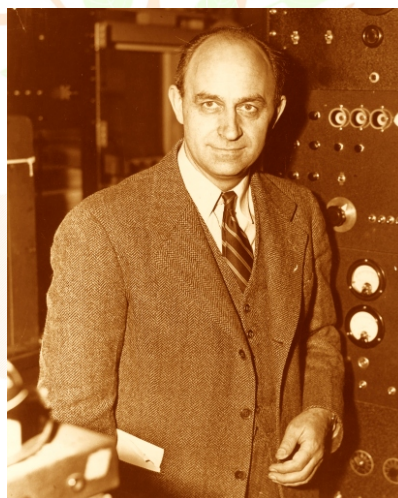
-Adsorción

-Electrolisis

-Cromatografía iónica separativa

-Precipitación

Para tener una idea de las actividades y masas de radionucleidos sometidos a procesos radioquímicos en las plantas nucleares, tengamos en cuenta que la alimentación de un solo reactor PWR de 1000 Mw significa:



Enrico Fermi (1901-1954)  
Desarrolló el primer reactor nuclear

-El movimiento de 2,5 millones de tn/a de roca estéril en la mina.

-El procesamiento de 86.000 tn/a de mineral (ley 0,2%) que deja una cantidad igual de residuos de colas de minería conteniendo 57 Ci de Ra-226 y libera al medio ambiente igual actividad de Rn-222.

-La producción de 34 tn/a de U enriquecido al 3,3% que deja un residuo de 170 tn de U depletado.

Por otra parte, el reactor nuclear produce 34 tn/a de combustible agotado, con un quemado de alrededor de 30.000 Mwd/tn, que contiene, después de 150 días en enfriamiento:

- 0,3 tn de Pu, 4 Kg Am-241/243, 1 Kg Cm-242/244, 15 kg Np-237, etc.

- 130 millones de Ci de PF.

- 4,5 millones de Ci de actínidos (Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, etc.)

En las plantas de producción de radioisótopos por otro lado, también se manipulan cantidades del orden de decenas de Ci de Mo-99, I-131, hasta miles de Ci de Cs-137, Co-60, etc. (Por ej: en 1964 se separaron de los residuos de Hanford 2000 Ci (23 g) de Cs-137.

Los problemas derivados de la elevada radiotoxicidad y del carácter estratégico de algunos materiales nucleares (Por ej: Pu) obligaron a aplicar nuevos conceptos de ingeniería y química de proceso, así como de controles de vigilancia y salvaguardias.

En cuanto a la Ingeniería de Procesos Radioquímicos, la manipulación de elevadas actividades de radionucleidos requiere de instalaciones especiales diferentes a las de las plantas químicas convencionales y la incorporación de nuevas tecnologías en el diseño de instalaciones calientes, confinamientos y blindajes biológicos, sistemas de visión, manipuleo remoto, transferencia y transporte, ventilación y filtración entre otras, además del rediseño de equipos de proceso, teniendo en cuenta los problemas asociados con la criticidad y el mantenimiento remoto, además de los problemas químicos ocasionados por la radiación.

Los procedimientos de control de proceso también tienen características particulares debido a la elevada radiactividad. Es necesario el análisis remoto de las muestras de proceso, para lo cual requieren equipos especiales de toma de muestras y procedimientos analíticos especialmente adaptados, o el análisis "in line", ya que en los procesos continuos, como el de una planta de reprocesamiento, ciertos parámetros de proceso deben ser corregidos apenas se detecta un cambio. Para ello se requiere instrumentación analítica especial con los sensores que monitorean generalmente parámetros físicos, ubicados en la línea de proceso.

Los procedimientos de Vigilancia y Salvaguardias son de gran importancia debido al carácter estratégico de algunos materiales nucleares. También en el almacenamiento, además de la protección física debido a la peligrosidad y al carácter estratégico de estos materiales nucleares, se deben tomar precauciones especiales debido a los problemas

de criticidad.

Debido a las dificultades de mantenimiento así como a los requerimientos de pureza radioquímica de los radioisótopos producidos, se requieren procedimientos de control de calidad y garantía de calidad muy estrictos.

La Protección radiológica (protección biológica y confinamiento para evitar contaminación interna y externa del personal o el público) es otra de las características especiales de los procesos radioquímicos calientes.

Durante esta tercera etapa se amplió aún más el campo de las aplicaciones radioquímicas:

-Radioquímica ambiental (radionucleidos usados como trazadores ambientales, usos en salvaguardias)

-Aplicaciones analíticas (análisis por activación, dilución isotópica, titulaciones radiométricas, autorradiografía, separaciones de radionucleidos por cromatografía iónica de muestras de comida y ambientales, investigaciones de productos de degradación de pesticidas, etc.

-Aplicaciones de análisis clínicos (radioinmunoanálisis)

-Aplicaciones biológicas (investigaciones metabólicas, distribución de fármacos en el organismo, etc.)

-Aplicaciones en electrónica (estudios de electrodeposición y reacciones en los electrodos, etc.)

- Aplicación en técnicas de datación de objetos antiguos y datación geológica.

-Aplicaciones médicas, como por ejemplo la obtención de radioisótopos emisores de positrones de vida media corta (2-100 m) y la síntesis de compuestos marcados radiofármacos.

También se aplicaron nuevas técnicas radioquímicas, como ser:

-Nuevas técnicas de espectrometría alfa y gamma con detectores de elevada resolución y software para análisis de datos.

-Nuevas técnicas separativas (cromatografía extractiva aniónica y catiónica, cromatografía líquida de alta presión, electromigración, etc.)

-Nuevos esquemas de separación para diferentes tipos de matrices, biológicas, ambientales, etc.

-Nuevas técnicas separativas utilizadas en plantas radioquímicas (mezcladores-decantadores, contactores centrífugos, columnas pulsantes, etc.) en los procedimientos de extracción por solventes (butex, purex, etc.)

He tratado de mostrar de un pantallazo el enorme crecimiento que ha tenido la radioquímica, sobre todo en esta tercera etapa, tal que de tomar un nuevo impulso la energía nuclear en nuestro país como se espera que ocurra, puede ser necesario dar énfasis a algunas áreas de la enseñanza de radioquímica como ser: Ingeniería radioquímica, Química caliente, Analítica caliente, Controles de calidad y Garantía de Calidad.

Abreviaturas

ABBACC: Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares



**Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable**

**Comisión Nacional de Energía Atómica**

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieods

Av. del Libertador 8250 - (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2011 ISBN: 978-987-1323-12-8