

## Técnicas analíticas avanzadas aplicadas al estudio de la presencia de actínidos Contaminación radiactiva en Palomares (Almería)

*Guillermo Manjón Collado, Director del Servicio de Radioisótopos de la Universidad de Sevilla.*

Los estudios medioambientales, como los que tratan de determinar concentraciones de metales traza o de radioisótopos, requieren de técnicas de medida y análisis muy avanzadas. En la Universidad de Sevilla se utilizan equipos muy sofisticados, como los aceleradores de iones del Centro Nacional de Aceleradores (CNA), que se encuentra en la Isla de La Cartuja, y como los espectrómetros de masas convencionales, del tipo ICP-MS (Ion Coupled Plasma), y, lógicamente, los detectores de radiactividad, que se encuentran en los Servicios Generales de Investigación, en particular en el Servicio de Radioisótopos, de la Universidad de Sevilla, con sede en el Centro para la Investigación, Tecnología e Innovación (CITIUS).

Con la aplicación de estas técnicas es posible determinar la concentración de radioisótopos en muestras ambientales, aun en el caso de ultra-bajos niveles, como ocurre en los alrededores de Palomares (Almería).

### **Antecedentes del accidente nuclear en Palomares**

Como consecuencia de los acuerdos bilaterales España - EE UU, firmados en 1953, nuestro país se incorporó al sistema estratégico de defensa occidental frente a la posible amenaza de expansión del bloque soviético. Como resultado inmediato de esos acuerdos, se facilitaron varias bases aéreas, como Torrejón de Ardoz en Madrid y Morón de la Frontera en Sevilla, a los aviones de la Fuerza Aérea de EE UU.

Uno de los dispositivos en los que participaban esas bases era el Programa de Operaciones Chrome Dome que, bajo la dirección del Strategic Air Command, estaba encargado de la realización de patrullas de bombarderos estratégicos B-52, armados con bombas termonucleares, a lo largo del Mediterráneo.

Los B-52 despegaban de la Costa Este de EE UU y se mantenían en vuelo permanente hasta su vuelta a los aeródromos de donde habían partido. Estas misiones requerían de varios reabastecimientos de combustible en vuelo, que se hacían en la Península Ibérica. Los aviones cisterna que alcanzaban el combustible a los bombarderos partían de las bases de Torrejón de Ardoz en el viaje de ida, y de Morón de la Frontera en el de vuelta.

Fue precisamente en uno de estos reabastecimientos cuando tuvo lugar una colisión accidental entre un bombardero B-52, con cuatro bombas termonucleares, y el avión cisterna procedente de Morón de la Frontera. Las cuatro bombas termonucleares cayeron a tierra en los alrededores de la población de Palomares, en la costa de Almería. Dos de las cuatro bombas sufrieron una explosión del explosivo convencional, diseminando por el aire el material radiactivo que contenían (uranio y plutonio). Dicho material radiactivo se depositó en el suelo alrededor de los puntos en que las bombas hicieron explosión.

Inmediatamente después del accidente se procedió a la descontaminación del área afectada, mediante la retirada de suelo contaminado, la realización de arado de tierras o mediante

lavado con agua, dependiendo del grado de contaminación que presentaba cada zona. Lógicamente los niveles de contaminación decrecieron en gran medida, aunque todavía hoy es posible, mediante técnicas de análisis y medida muy sofisticadas, la detección de pequeñas trazas del material radiactivo introducido en el medio ambiente como consecuencia del accidente.

### **Recientes investigaciones**

Para la determinación de las concentraciones de actividad de isótopos de uranio y plutonio, el Servicio de Radioisótopos cuenta con sistemas de espectrometría gamma y sistemas de espectrometría alfa. La aplicación de técnicas de medida por espectrometría gamma (radiación electromagnética de muy alta energía) permite localizar dónde se encuentran las trazas de plutonio. Efectivamente, uno de los isótopos de plutonio presente en las bombas termonucleares que hicieron explosión es el Pu-241. A lo largo del tiempo, cuarenta años después del accidente, la desaparición por desintegración radiactiva de dicho isótopo da lugar a la aparición de otro actínido, el Am-241, el cual también es radiactivo y emite, en su desintegración radiactiva, fotones gamma. Estos fotones gamma son los que se detectan en los sistemas de espectrometría gamma.

Una vez localizadas las muestras que contienen plutonio, se procede a la determinación de las concentraciones de los isótopos de dicho elemento. Las relaciones isotópicas así obtenidas nos han permitido identificar el origen del plutonio que se ha detectado. En el caso de las muestras de suelo que se recogieron en los alrededores de Palomares, estas razones de actividad mostraron claramente que el origen del plutonio eran las bombas termonucleares (1). Una confirmación de lo anterior se obtuvo mediante la determinación de las razones de actividad Pu-240/Pu-239 mediante espectrometría de masas (2 y 3).

De forma paralela se procedió al análisis de las concentraciones de isótopos de uranio en suelos. En este caso, la identificación del origen del uranio se realiza mediante el cálculo de la razón de actividad del U-235, que es el isótopo fisible, con el U-238, que es el isótopo más abundante.

Para complementar la información anterior se ha procedido a la aplicación de una técnica de análisis por microscopía electrónica utilizando los equipos con que cuenta el Servicio de Microscopía de la Universidad de Sevilla. Esta técnica no sólo permite obtener la morfología de un objeto cuyas dimensiones pueden ser, en nuestro caso, menores de 50  $\mu\text{m}$ , sino que además sirve para identificar un determinado elemento presente en la muestra, mediante la detección de los rayos X emitidos al interaccionar el haz de electrones con los átomos de la muestra. Utilizando la técnica de análisis por microscopía electrónica, complementándola con la aplicación de técnicas de análisis con haces de iones usando el acelerador lineal del Centro Nacional de Aceleradores de La Cartuja (Sevilla), se ha podido determinar la existencia de pequeñas partículas sólidas, denominadas *partículas calientes*, en las que se concentran los isótopos de plutonio y uranio con origen en el accidente.

### **Situación actual**

Como conclusiones más relevantes de los mencionados estudios, podemos finalizar diciendo que, en la actualidad, existe en los alrededores de la población de Palomares un remanente de contaminación radiactiva como consecuencia del accidente nuclear que tuvo lugar en enero de 1966. Aunque los niveles de contaminación no son necesariamente preocupantes para la salud, dada la poca movilidad espontánea de los radioisótopos

estudiados, aquéllos alcanzan valores superiores a los propios de zonas afectadas exclusivamente por la precipitación estratosférica de radioisótopos con origen en pruebas atmosféricas de armas nucleares. Las relaciones isotópicas  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  confirman que se trata de plutonio y uranio de uso militar. Se ha comprobado que los tamaños típicos de la *partículas calientes* son tales que los riesgos de inhalación son mínimos. Sin embargo, al observarse que la estructura de las partículas es granular existe una probabilidad de fragmentación elevada.

Al estar previsto el cierre, por parte del Gobierno de España, de la zona de los alrededores de Palomares afectada por el accidente nuclear, éste podría ser uno de los últimos trabajos científicos experimentales que se publiquen sobre el tema.

### **El servicio de radioisótopos**

El Servicio de Radioisótopos es una oferta tecnológica de la Universidad de Sevilla, tanto en el ámbito de la investigación científica, como en cualquier otro área de interés social (industria, medio ambiente, sanidad...). En la actualidad tiene las siguientes aplicaciones de interés medio ambiental:

- Metrología de Radiaciones, es decir, capacidad de realización de metrología de radiactividad y caracterización de fuentes en general.
- Datación, que es la capacidad de fechado de muestras ambientales en la escala histórica, arqueológica o geológica a través de medidas de diversos isótopos radiactivos.
- Análisis Isotópico, con la que complementa las capacidades anteriores.

Cualquier institución pública o privada y, en general, cualquier organización social puede dirigirse a este Servicio para demandar análisis o medidas de isótopos radiactivos en muestras ambientales sin ningún otro compromiso que la buena calidad de los resultados correspondientes.

### **Referencias**

1. M. C. JIMÉNEZ-RAMOS, R. GARCÍA-TENORIO, I. VIOQUE, G. MANJÓN, M. GARCÍA-LEÓN. Presence of plutonium contamination in soils from Palomares (Spain). *Environmental Pollution* 142 (2006) 487-492.
2. E. CHAMIZO, M. GARCÍA-LEÓN, H.-A. SYNAL, M. SUTER, L. WACKER. Determination of the  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  atomic ratio in soils from Palomares (Spain) by low-energy accelerator mass spectrometry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249 (2006). 768-771.
3. M. C. JIMÉNEZ-RAMOS, H. BARROS, R. GARCÍA-TENORIO, I. VIOQUE, G. MANJÓN. On the presence of enriched amounts of  $^{235}\text{U}$  in hot particles from the terrestrial area affected by the Palomares accident (Spain). *Environmental Pollution* 145 (2007) 391-394.

**Tabla 1:** Razón isotópica  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  relacionada con el grado de enriquecimiento en  $^{235}\text{U}$  que hay en una muestra de uranio ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ).

Tipo de matriz	Grado de enriquecimiento	Valor de referencia	Valor observado en Palomares	Notas
Uranio natural	0,72 %	137,5 ± 0,5		
Uranio de uso civil	1 – 4 %	99 – 33		
Uranio de uso militar (Nagasaki, 1945)	80 %	0,25		
Uranio en suelo			137 ± 4	Suelo no afectado
Uranio en suelo			117 ± 4	Suelo débilmente afectado
Uranio en suelo			72 ± 2	Suelo muy afectado
Uranio en suelo			5,4 ± 0,2	Partícula caliente

**Tabla 2:** Razón isotópica  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  relacionada con el origen del plutonio presente en la muestra. Los valores correspondientes a la precipitación atmosférica son superiores a los observados en Palomares por estar afectados por el plutonio del reactor del satélite SNAP-9A.

Tipo de matriz	Valor de referencia	Valor observado en Palomares	Notas
Plutonio de uso civil	0,4		Chernobyl, 1986
Plutonio de uso militar	0,03		Precipitación atmosférica
Plutonio en suelo		0,015 – 0,021	Palomares, 1966
Plutonio en suelo		0,010 – 0,057	Thule, Groenlandia, 1968

**Tabla3:** Conceptos utilizados en este artículo.

Concepto	Definición	Ejemplo
Elemento	Clase de átomos que presentan el mismo número de protones en su núcleo.	Uranio, plutonio, americio
Isótopo	Clase de un elemento que presenta el mismo número de neutrones en su núcleo	Para el uranio, son isótopos U-238, U-234, U-235
Actínido	Elementos que se ordenan en el Sistema Periódico en la Serie del Actinio.	Uranio, plutonio, americio
Depósito atmosférico	Transferencia de los residuos de las explosiones de armas nucleares que se encuentran en la estratosfera hacia capas inferiores de la atmósfera.	
Enriquecimiento	Incremento artificial de la concentración relativa de U-235 en una muestra de uranio que presenta los tres isótopos: U-238, U-234, U-235.	