

Z = 94, plutonio, Pu

El elemento primordial más pesado
que existe en la naturaleza

CE: [Rn] 5f⁶7s²; PAE: 244 (isótopo más estable); PF: 639 °C; PE: 3228 °C; densidad: 19,82 g/cm³; χ (Pauling): 1,28; EO: +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7; isótopos más estables: ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴²Pu y ²⁴⁴Pu; año de aislamiento: 1940 (G. T. Seaborg, A. C. Wahl, J. W. Kennedy y E. M. McMillan, Berkeley, California).^[1]

Enrico Fermi y su grupo de investigación, en Roma, informaron en 1934 del descubrimiento del elemento 94 y lo denominaron *hesperium*, mencionándolo en el discurso del premio Nobel en 1938. Sin embargo, lo que habían producido, sin percatarse, era una fisión nuclear con una mezcla de bario, kriptón y otros elementos. La fisión nuclear fue descubierta en Alemania ese mismo año por Otto Hahn y Fritz Strassmann. El mecanismo de la fisión fue interpretado por Lise Meitner y Otto Frisch. Fue Seaborg quien lo denominó plutonio, al ser el elemento siguiente al neptunio, siguiendo el orden de los planetas.^[2,3]

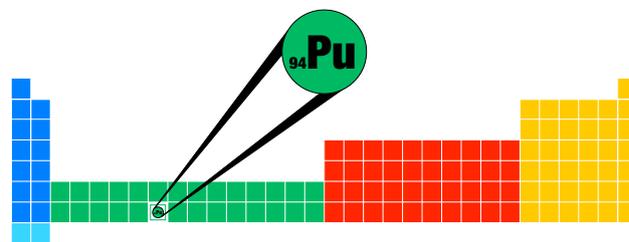
El plutonio fue producido por primera vez por Seaborg, Wahl, Kennedy y McMillan el 14 de diciembre de 1940 al bombardear uranio-238 con un deuterón en el ciclotrón de 1,5 metros de la Universidad de California en Berkeley. El Pu tiene veinte radioisótopos, con números másicos entre el 228 y el 247. Las trazas existentes se deben a los “reactores nucleares” naturales que existieron hace 1,8·10⁹ años, como los de Oklo en Gabón.

El ²³⁹Pu fue el isótopo crucial en el Proyecto Manhattan: la primera bomba nuclear ensayada, Proyecto *Trinity*, y la de Nagasaki, tenían un núcleo de ²³⁹Pu. Los átomos de ²³⁹Pu y ²⁴¹Pu son fisibles, capaces, si se alcanza la masa crítica, de explosionar; ²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu y ²⁴²Pu son fisionables por neutrones térmicos, pero no mantienen una fisión en cadena, salvo el ²⁴⁰Pu. La masa crítica depende, entre otras variables, de la geometría y densidad del material; para el ²³⁹Pu, con geometría esférica, es ~10 kg y, con reflectores que impidan escape de neutrones, puede conseguirse con ~4 kg.^[4]

Un problema, entre otros, que han tenido las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, es su inicio, utilizando la energía de fisión en usos bélicos (200 MeV/átomo). Además de la energía debida a la rotura de los átomos, desaparece una pequeña cantidad de materia, transformada en energía según la ecuación de Einstein.

El ²³⁹Pu, fisible, se genera bombardeando núcleos de ²³⁸U con neutrones térmicos, lentos, como en los reactores de producción de energía eléctrica. Según progresa el quemado del combustible, también se fisiona el ²³⁹Pu, por lo que el contenido final, para un quemado de 45 GWd/t, es del 1 %. Casi el 25 % de la energía producida en el reactor se debe al ²³⁹Pu.

El ²³⁹Pu se produce en reactores plutonígenos con quemados de 6–8 GWd/t, como el reactor de Vandellós I, de grafito-gas, parado en 1989, y se aísla al reprocesar combustibles usados con, al menos, tres años de enfriamiento, con lo que habrán decaído bastantes radioisótopos contenidos, unos 2200, con períodos de semidesintegración de milisegundos a meses. El combustible se disuelve con ácido nítrico 6 M; una extracción líquido-líquido, con fosfato de tributilo al 30 % en queroseno, específico de los iones uranio y plutonio, los separa del resto. El uranio y el plutonio



se separan por coprecipitación-redisolución y por óxido-reducción.

El plutonio es un metal de brillo plateado que se oxida al aire (Figura 1), tomando un aspecto oscuro; forma aerosoles con facilidad que son pirofóricos. Es tóxico, aunque el mercurio, plomo, radio, etc., son cientos o miles de veces más tóxicos, y la bacteria botulínica millones de veces.

La radiotoxicidad del plutonio se debe a su desintegración α pues, aunque la piel humana detiene esta radiación, una herida permite llevarlo, por el torrente circulatorio, a las células hematopoyéticas que, al impedir la creación de glóbulos rojos, resulta en leucemia. La ingestión de plutonio, sin heridas internas tiene poco riesgo pues apenas se absorbe y la mayor parte pasa por el sistema digestivo y, finalmente, se excreta.

Además de los usos bélicos y de la producción de energía, el ²³⁸Pu, con un período de semidesintegración de 87,74 años, se usa como fuente de calor en misiones espaciales y se utilizó como pila de marcapasos, eterna para la vida humana.



Figura 1. Lingote metálico de plutonio^[5]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Physical, nuclear, and chemical properties of Plutonium, Institute for Energy and Environmental Research, <https://ieer.org/>, visitada el 20/03/2019.
- [2] G. T. Seaborg, The plutonium story. *Lawrence Berkeley Laboratory*, University of California. LBL-13492, DE82 004551, 1981.
- [3] S. Flügge, Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden?, *Die Naturwissenschaften*, **1939**, 27, 402–410.
- [4] V. González, *El ciclo del combustible nuclear*, UAM Ediciones, Cantoblanco, 2013.
- [5] Fotografía de plutonio, Energía nuclear, bit.ly/2UIPufW, visitada el 25/02/2019.

VALENTÍN GONZÁLEZ GARCÍA
Universidad Autónoma de Madrid
Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid
valentin.gonzalez@uam.es